



Flomsonekartprosjektet
**Flomberegning
for Bondalselva**

Thomas Væringstad

18
2003



D
O
K
U
M
E
N
T

Flomberegning for Bondalselva (097.1Z)

Norges vassdrags- og energidirektorat

2003

Dokument nr. 18 - 2003

Flomberegning for Bondalselva (097.1Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Thomas Væringstad

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 30

Forsidefoto: Utløpet av Bondalselva i 2002 (Foto: Anders Jarle Muldsvor)

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for et delprosjekt i Bondalselva i Møre og Romsdal. Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for to punkter i vassdraget.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Bondalselva

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

Januar 2004

Innhold

Forord.....	4
Sammendrag.....	5
1. Beskrivelse av oppgaven.....	6
2. Beskrivelse av vassdraget.....	7
3. Hydrometriske stasjoner.....	10
4. Beregning av flomverdier.....	13
4.1. Flomfrekvensanalyser.....	13
4.2. Beregning av middelflom.....	16
4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring.....	17
5. Observerte flommer.....	19
6. Usikkerhet.....	21
Referanser.....	22

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 flomsonekartlegging av flomutsatt elvestrekning i Bondalselva i Møre og Romsdal. Rapporten er utarbeidet av Thomas Væringstad og kvalitetskontrollert av Lars-Evan Pettersson.

Oslo, januar 2004



Kjell Repp
avdelingsdirektør



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for Bondalselva omfatter delprosjekt fs 097_1 Bondalen i NVEs Flomsonekartprosjekt. Bondalselva er et kystnært vassdrag på Sunnmøre i Ørsta kommune og hvor elva munner ut i Hjørundfjorden. Vassdraget faller inn under verneplan I og er vernet mot kraftutbygginger. Store flommer kan forekomme hele året, men som oftest inntreffer de i sesongen sensommer – høst. Flomepisoder er normalt forårsaket av intens nedbør i form av regn, gjerne i kombinasjon med snøsmelting. Avrenningen til elva antas normalt å være rask med spisst forløp.

Det foreligger ingen vannføringsdata fra vassdraget. Flomberegningen er derfor i hovedsak basert på regionale flomformler og frekvensanalyser av observerte flommer ved målestasjoner i nærliggende vassdrag. Det er beregnet kulminasjonsvannføring for ulike gjentaksintervall ved utløpet i fjorden og bidraget fra Holelva ved samløp Bondalselva. Det er antatt at kulminasjonsvannføringen er 68 % større enn døgnmiddelvannføringen for alle gjentaksintervall. Resultatene av beregningene ble:

	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
Bondalselva ved utløpet i fjorden	112	140	168	191	230	258	292	336
Holelva (tilløp til Bondalselva)	5.8	7.3	8.7	9.9	11.9	13.3	15.1	17.4

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig, og det er mange faktorer som spiller inn. På grunn av mangelfullt datagrunnlag i Bondalselvas nedbørfelt for å beregne flommer, klassifiseres denne flomberegningen i klasse 3, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for flomutsatt elvestrekning i Bondalselva i Ørsta kommune i Møre og Romsdal, delprosjekt fs 097_1 Bondalen i NVEs Flomsonekartprosjekt. Som grunnlag for konstruksjon av flomsonekart skal kulminasjonsverdier av midlere flom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes ved Bondalselvas utløp i Hjørundfjorden og bidraget fra Holelva ved samløp Bondalselva. Den aktuelle strekningen som skal flomsonekartlegges strekker seg fra Kvistad bru til utløp i fjorden. Kart over Bondalselvas nedbørfelt er vist i figur 1 og strekning som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med rødt.



Figur 1. Kart over Bondalselvas nedbørfelt. Strekingen som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med rødt.

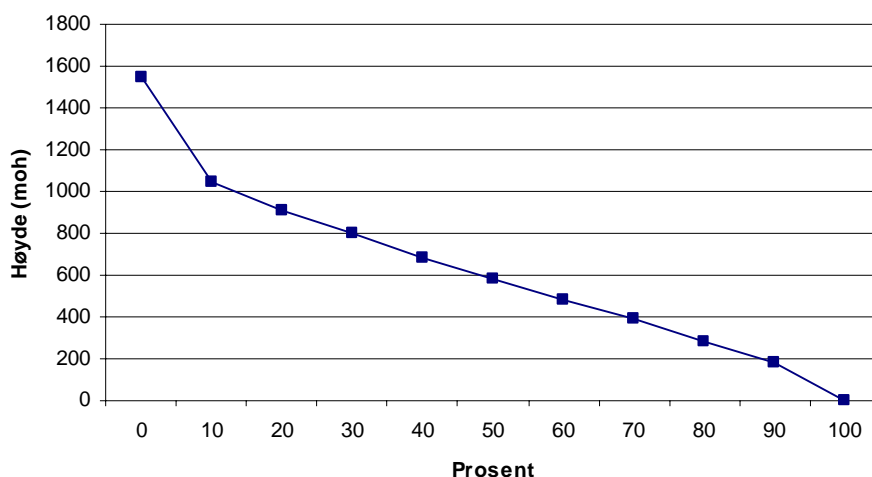
2. Beskrivelse av vassdraget

Bondalselva ligger i Ørsta kommune på Sunnmøre ca 30 – 40 km sør for Ålesund. Nedbørfeltet drenerer i nordøstlig retning og renner ut i Hjørundfjorden ved Sæbø. Vassdraget består av en hovedgren, Bondalselva, med tilløp fra flere små sideelver. Nedbørfeltet har et totalt areal på 89.0 km². Høydefordelingen strekker seg fra havnivå til opp i vel 1500 moh. Median høyde er på 581 moh. og høyeste punkt i vassdraget er Skårasalen på 1542 moh. Hypsografisk kurve for vassdraget er vist i figur 2 og aktuelle feltparametere er oppsummert i tabell 1.

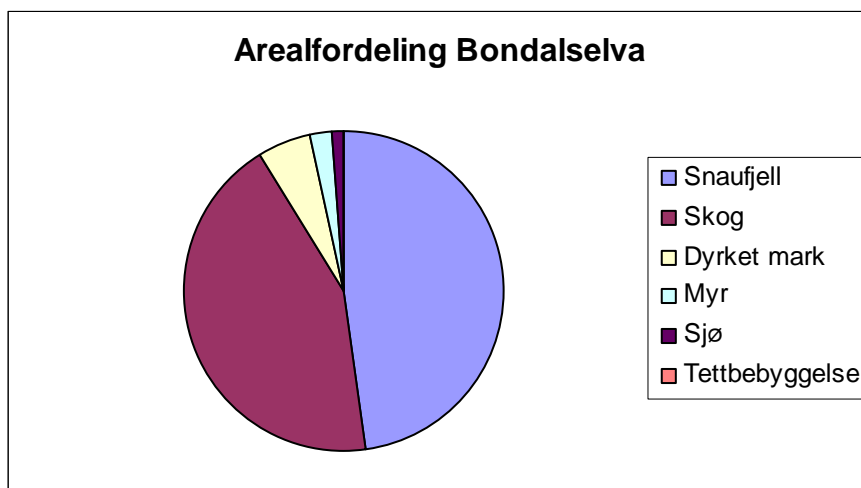
Tabell 1. Feltparametere for Bondalselvas og Holelvas nedbørfelt.

	Areal km ²	Eff. sjø %	Sjø %	Feltlengde km	Normalavløp, Q _N l/s pr. km ²
Bondalselva	89.0	0.03	1.1	11.6	80
Holelva	3.6	0	0	3.5	103

Vassdraget faller inn under verneplan 1, og er vernet mot kraftutbygging. Det er noen mindre vann i de øvre deler av vassdraget og det er antatt at disse vil ha liten innvirkning på flommer. Breprosenten i nedbørfeltet er liten med ca 0.3 %. Normalavløpet for vassdraget er beregnet ut fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE, 2002) og gir en midlere spesifikk årlig avrenning på ca. 80 l/s pr. km². Avrenningen varierer fra rundt 45 l/s pr. km² i de laveliggende områdene rundt fjorden til omkring 140 l/s pr. km² i de høyereliggende områdene. Avrenningskartet har en usikkerhet på ± 20 % og øker i alminnelighet for små arealer. Estimert for årlig middelavrenning i vassdraget er noe usikkert, fordi kartet er basert på modellsimuleringer og ikke direkte er knyttet opp mot målinger i vassdraget. Det er imidlertid benyttet stasjoner i rimelig nærhet, som for eksempel 97.1 Fetvatn og 98.4 Øye ndf. (stasjonene er nærmere beskrevet i kapittel 3), til kalibrering og korrigerings av modellresultatene simulert i forbindelse med avrenningskartet.

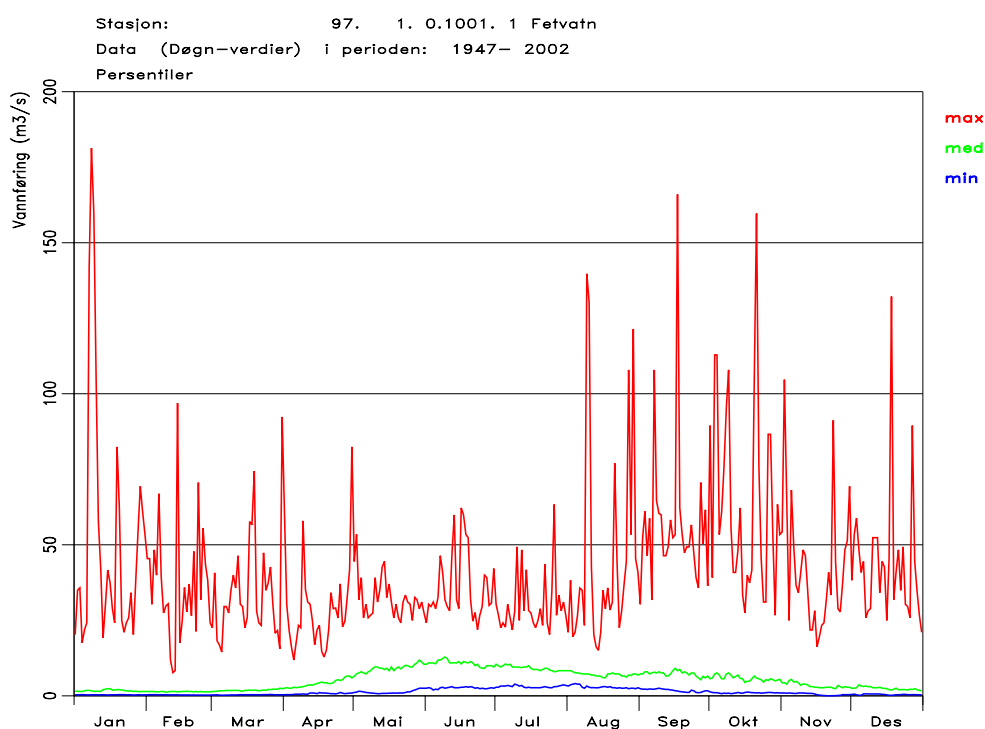


Figur 2. Hypsografisk kurve for Bondalselvas nedbørfelt. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som ligger over en gitt høyde.

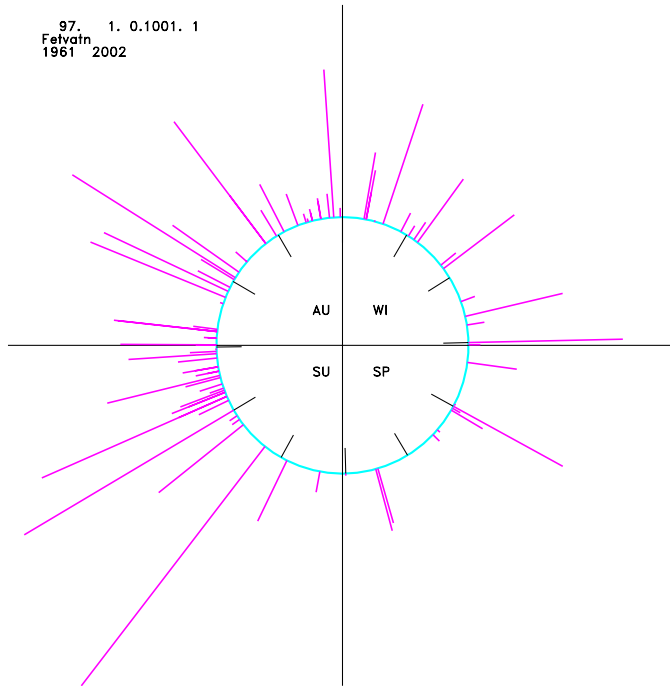


Figur 3. Arealfordeling for Bondalselva nedbørfelt.

Sammenligning mellom avrenningskartet og observerte data for nevnte målestasjoner viser god overensstemmelse. 97.1 Fetvatn har observert årsmiddelavrenning for samme perioden på 88.4 l/s pr. km² (Astrup 2001), mens tilsvarende avrenning beregnet fra kartet er 89.3 l/s pr. km². 98.4 Øye ndf. har observert årsmiddelavrenning på 60.7 l/s pr. km². Beregninger fra avrenningskartet gir 61.5 l/s pr. km² ved Øye ndf. Dette viser at avrenningskartet stemmer bra overens med observasjoner ved disse stasjonene, og det antas derfor at beregnet årlig middelavrenning for Bondalselvas nedbørfelt også er et rimelig godt estimat.



Figur 4. Karakteristiske vannføringer ved stasjon 97.1 Fetvatn. Figuren viser henholdsvis største, median og minste observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året for perioden 1947 – 2002.



Figur 5. Flommer observert ved målestasjon 97.1 Fetvatn i perioden 1961 – 2002. Sirkelen representerer året med 1. januar rett opp. Flommene er markert med når på året de inntreffer og med relativ størrelse.

Sesongvariasjonen i avrenningen for Bondalselva må vurderes ut fra nærliggende stasjoner. Viktige parametere for sesongvariasjonene er klimatiske forhold og høydebeliggenhet. Figur 4 viser karakteristiske vannføringsverdier for 97.1 Fetvatn som antas å beskrive avrenningsmønsteret i Bondalselva godt. Øverste kurve (max) i diagrammet viser største observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året. Nederste kurve (min) viser minste observerte vannføring i løpet av måleperioden og den midterste kurven (med) er mediankurven, dvs. at det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større eller mindre enn denne.

Figur 5 viser relativ flomstørrelse og tidspunkt for flommer ved målestasjon 97.1 Fetvatn over en gitt terskelverdi, her på ca $42 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som er rundt 66 % av middelflom ved vannmerket for perioden 1961 – 2002.

Ut fra figurene 4 og 5 kan en se at store flommer ved målestasjon 97.1 Fetvatn kan forekomme hele året, men som oftest inntreffer de i sesongen sensommer – høst. Siden Bondalselvas nedbørfelt ligger omtrent på samme høydenivå som nedbørfeltet til vannmerke 97.1 Fetvatn, er det grunn til å tro at Bondalselva har lignende fordeling av flommer og at de som oftest vil inntreffe i sommer- og høstsesongene, men flommer kan også forekomme om vinteren og våren.

3. Hydrometriske stasjoner

Det har ikke vært målestasjoner for vannføring i Bondalselvas vassdrag. Flomberegningen er derfor basert på observasjoner av vannføring fra målestasjoner i nærliggende vassdrag og regionale flomfrekvenskurver (Sælthun et al., 1997). Figur 6 viser beliggenheten til stasjonene og feltparametrene er oppsummert i tabell 2. Hypsografisk kurve for stasjonene er vist i figur 7. Feltparametrene er fastlagt ved en ny beregning av Seksjon for geoinformasjon ved Vannressursavdelingen i NVE, og kan avvike noe fra det som er oppgitt i NVEs hydrologiske database.

Det er i Pettersson (2002) gjort en god beskrivelse av aktuelle stasjoner i nærheten av Bondalselvas nedbørfelt. Stasjonsbeskrivelsene under er i all hovedsak hentet derfra.

91.2 Dalsbøvatn ligger på Stadtlandet og har observasjoner siden 1934. Nedbørfeltets areal er 25.6 km² og midlere felthøyde er 259 moh. Den effektive sjøprosenten i feltet er relativt stor, 4.94 %. Største målte vannføring som grunnlag for etablering av vannføringskurve er 19.3 m³/s, hvilket tilsvarer 180 % av midlere flom.

94.10 Steinkvivatn lå i Åmelavassdraget innerst i Dalsfjorden 25 km sørvest for Ørsta og har observasjoner i perioden 1962-71. Nedbørfeltet, som er på 20.8 km², har relativt stor innsjøprosent.

96.3 Hareidselv ligger på Hareidlandet ca 30 km nordvest for Bondalselva. Observasjoner finnes siden 1985. Nedbørfeltets areal er på 40.2 km². Den effektive sjøprosenten i feltet er relativt stor med 5.39 %.

97.1 Fetvatn ligger i Velledalselva som drenerer til Sykkylvsfjorden i sørvest. Observasjoner finnes siden 1946. Frem til juli 1973 besto observasjonene av en daglig avlesning av vannstandsskalaen, fra den tid er stasjonen utstyrt med kontinuerlig registrerende instrument. Nedbørfeltets areal er 89.2 km². Største målte vannføring som grunnlag for etablering av vannføringskurve er 42.8 m³/s, hvilket tilsvarer 60 % av middelflom. Dataserien er uten homogenitetsbrudd (Astrup 2000). Vassdraget er uregulert.

97.2 Saurevatn ligger i Vikelva innerst i Hjørundfjorden like sør for Bondalselva. Observasjoner finnes siden 1966. Nedbørfeltets areal er 45.9 km². Feltet er regulert siden 1965 ved at 8.7 km² er overført til Tussevatn. Areal etter overføring er derved 37.2 km², men overløp fra det overførte feltet kan forekomme. Det er noen mindre innsjøer i nedbørfeltet.

97.4 Skjåstad lå i en liten sideelv i Vikelvvassdraget. Observasjoner finnes i perioden 1966-97, men data vurderes som usikre. Da stasjonen ble nedlagt ble den nemlig erstattet av 97.5 Sleddalen lenger opp i sideelven, og flomverdiene fra denne stasjonen er atskillig større enn de fra Skjåstad.

98.4 Øye ndf. ligger i Stadheimselva (Bygdaelva) ved Hellesylt 45 km sørøst for Ørsta. Observasjoner finnes siden 1916. Nedbørfeltets areal er 138.8 km² og midlere felthøyde er 1014 moh. Den effektive sjøprosenten i feltet er 0.26 %. Største målte vannføring som grunnlag for etablering av vannføringskurve er 84 m³/s, hvilket tilsvarer 139 % av midlere flom.



Figur 6. Oversikt over avløpstasjoner benyttet i beregningene. Nedbørfeltet til hver enkelt stasjon er inntegnet med svart strek.

101.1 Engsetvatn ligger like øst for Ålesund i Skodje kommune i Romsdal. Observasjoner finnes siden 1923. Nedbørfeltets areal er 39.9 km^2 . Feltet har stor effektiv sjøprosent (tabell 2). Største målte vannføring som grunnlag for etablering av vannføringskurve er $10.2 \text{ m}^3/\text{s}$, hvilket tilsvarer middelflom. Vannføringskurven er ekstrapolert ved hjelp av en hydraulisk modell (HEC2), og vannføringskurven anses som god på stor vannføring. Like nedenfor stasjonen lå 101.2 Engsetvatn ndf., men dataene fra 101.1 regnes for å være de beste. Stasjonen har signifikant homogenitetsbrudd i 1955 (Astrup 2000), uvisst av hvilken grunn. Vassdraget er uregulert.

104.23 Vistdal ligger ved Bergset bru i Visa, som drenerer til Langfjorden i Nesset kommune, og har observasjoner siden 1975. Nedbørfeltets areal er 66.4 km^2 . Største målte vannføring som grunnlag for etablering av vannføringskurve er $23.6 \text{ m}^3/\text{s}$, hvilket tilsvarer 65 % av middelflom. Vannføringskurven er ekstrapolert ved hjelp av en hydraulisk modell (HEC2), og vannføringskurven anses som god på stor vannføring. Nedbørfeltet er relativt høytliggende og har rask respons. Vassdraget er uregulert.

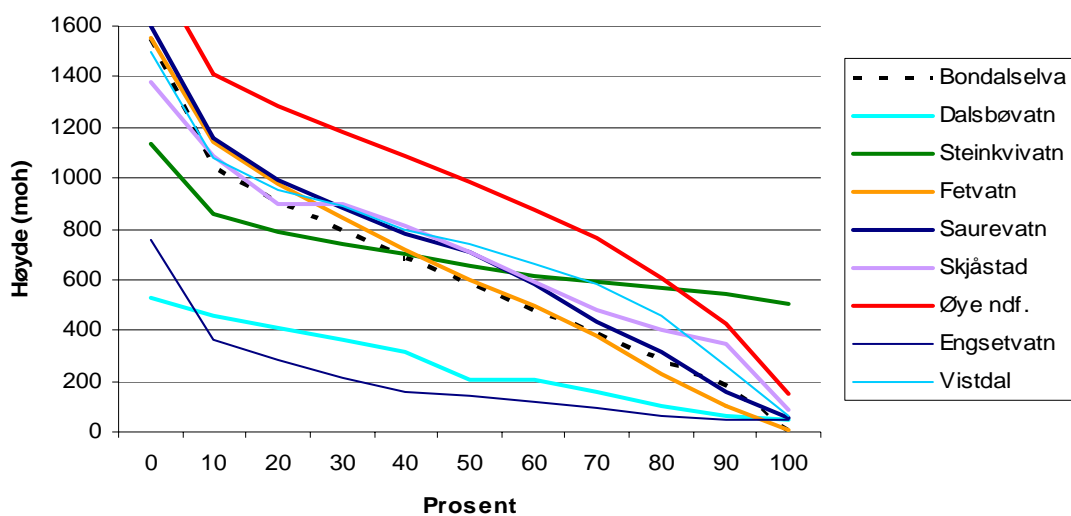
Nedbørfeltene som drenerer til målestasjonene Dalsbøvatn, Steinkvivatn, Hareidselv og Engsetvatn har relativt høy effektiv sjøprosent, noe som generelt medfører flomdemping. Flomepisodene og frekvensanalysene for avløpsserien ved disse stasjonene er dermed ikke direkte sammenlignbare med flommer i Bondalselva, som har lav effektiv sjøprosent. Responsen i vannføringen på nedbør i Bondalselva vil trolig være rask med spisst forløp.

Tabell 2. Feltparametere for målestasjoner i Bondalselvas omegn.

Stasjon	Feltareal km ²	Eff. sjø %	Normalavløp, Q _N l/s pr. km ²	Høydeintervall moh.	Median høyde moh.
91.2 Dalsbøvatn	25.6	5.47	65.5	47-528	203
94.10 Steinkvivatn	20.8	7.12	100*	505-1133	658
96.3 Hareidselv	40.2	5.39	43*	18-668	-
97.1 Fetvatn	89.2	1.52	88.4	7-1551	600
97.2 Saurevatn	37.2**	1.62	72*	58-1598	710
97.4 Skjåstad	10.2	0.00	65.6	90-1382	710
98.4 7Øye ndf.	139.0	0.26	60.7	147-1848	982
101.1 Engsetvatn	39.9	11.03	54.5	45-760	440
104.23 Vistdal	66.4	0.14	59*	60-1498	740
Bondalselva	89.0	0.03	80*	0-1542	581

* Normalavløp funnet fra avrenningskartet for perioden 1961 – 1990.

** Nedbørfeltets areal er fratrukket regulert felt på 8.7 km² som er overført ut.



Figur 7. Hypsografiske kurver for nedbørfeltene Bondalselva og utvalgte nabostasjoner. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som ligger over en gitt høyde.

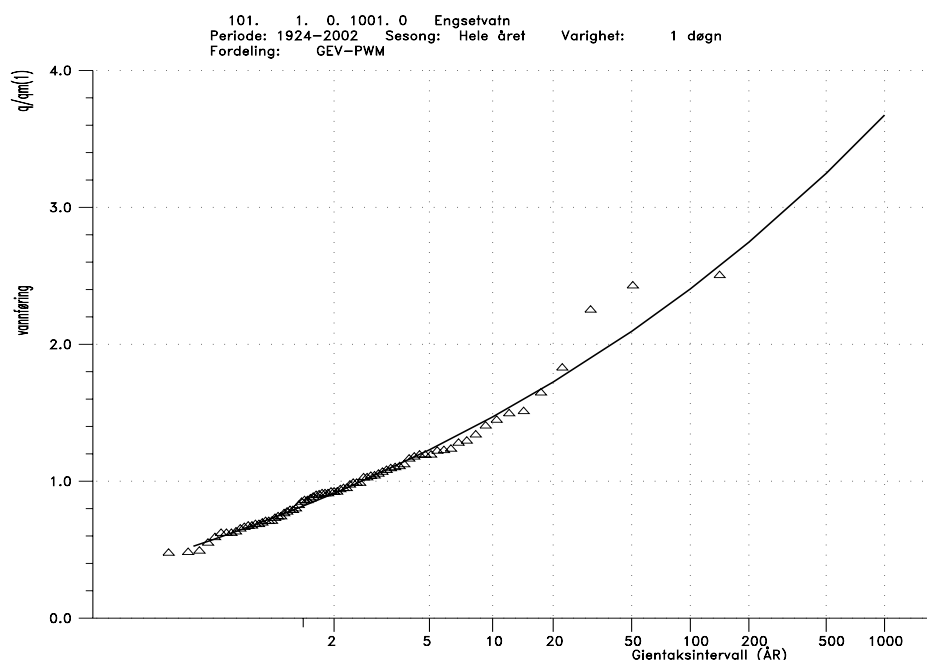
4. Beregning av flomverdier

Grunnlaget for flomsonekartleggingen er flomvannføringer for gitte gjentakintervall som beskrevet i kapittel 1. Elvestrekningen som skal flomsonekartlegges har tilløp fra Holelva. Bidraget fra Holelva for ulike gjentakintervaller, beregnes som en andel av flomvannføringen i Bondalselva skalert med hensyn på areal og normalavløp.

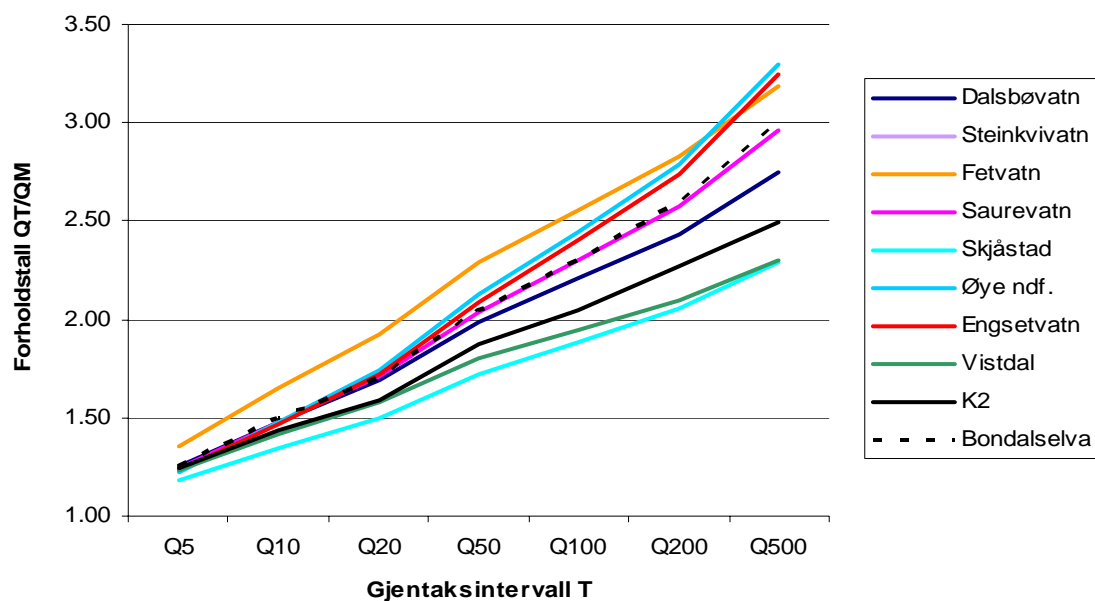
Siden det ikke finnes observasjoner av vannstand/vannføring i Bondalselva er utgangspunktet for flomfrekvensanalysen observasjonsserier av vannføring i nærliggende vassdrag og regionale flomfrekvensformler (Sælthun et al. 1997).

4.1. Flomfrekvensanalyser

En skiller gjerne mellom vårflokker og høstflokker. Store vårflokker er ofte en kombinasjon av snøsmelting og regn. Høstflokker kommer som regel fra en ren regnhendelse. De underliggende mekanismene er forskjellige og kan ha ulike fordelinger. Vårflokker er årvisse og stiger generelt moderat mot høye gjentakintervall. Høstflokker kan være små eller mangle helt enkelte år, men stiger ofte raskere for sjeldne hendelser. I vassdrag med klart definert sesongskille er regionale kurver derfor lagd separat for vårflokker og høstflokker. I kystnære og relativt lavtliggende vestlandsvassdrag vil milde perioder i kombinasjon med nedbør i form av regn kunne gi flokker om vinteren. Det vil derfor være fare for flom gjennom store deler av året og det er ikke noe klart sesongskille. Regionale kurver i slike vassdrag er derfor basert på årsflokker.



Figur 8. Tilpasset fordelingsfunksjon til årsflokker (døgnmiddel) ved stasjon 101.1 Engsetvatn. Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet Q_T/Q_M .



Figur 9. Flomfrekvensfaktorer (Q_T/Q_M) av årsflommer (døgnmiddel), for aktuelle målestasjoner, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun et al. 1997).

I flomsonekartprosjektet legges frekvensanalyse av årsflommer til grunn for beregningene (NVE, 2000). Det vil si at frekvensanalysen er basert på en serie som består av den største observerte døgnmiddelvannføringen for hvert år.

Med bakgrunn i dette er det utført flomfrekvensanalyser av årsflommer ved målestasjonene beskrevet i kapittel 3. For hver stasjon tilpasses ulike fordelingsfunksjoner, og den frekvensfordelingen som vurderes best tilpasset de observerte årsflommene velges. Figur 8 viser fordelingsfunksjonen som synes å være best tilpasset de observerte årsflommene ved Engsetvatn. Valgt frekvensfordeling for de forskjellige stasjonene er sammenfattet i tabell 3. Midlere flom (Q_M) er oppgitt i absolutte og spesifikke verdier og flommer for ulike gjentakintervall (Q_T) som forholdstallet (flomfrekvensfaktor) til midlere flom (Q_T/Q_M). Flomfrekvensfaktorene er også illustrert i figur 9. Det er stor variasjon i de valgte frekvensfaktorene ved målestasjonene. Dataserien ved Fetvatn har vist seg å gi for høye verdier, fordi døgnmiddelflommene består av en blanding av kulminasjonsverdier og reelle døgngjennomsnitt. Dette er nærmere beskrevet i Pettersson (2002). Målestasjon 94.10 Steinkvivatn har kun 8 år med data og usikkerheten i estimer av høye gjentakintervall (fra 10 år og oppover) vil være stor. Denne serien egner seg derfor kun til estimer rundt middelflom. For de resterende stasjonene er også variasjonen i frekvensfaktorene stor og for Q_{500}/Q_M ligger de eksempelvis fra 2.29 ved Skjåstad til 3.29 ved Øye ndf.

Det er også foretatt en sammenligning med regionale flomfrekvenskurver (Sælthun et al. 1997). I kystregionene er disse basert på årsflommer, og i tabell 3 er flomfrekvensfaktorene for region K2 gitt. Region K2 dekker områdene innenfor den ytterste kyststripen og omfatter mange fjorder og kystnære strøk. Bondalselva ligger i denne regionen, og beregninger for denne regionen er derfor tatt med. De regionale kurvene er basert på avløpsfelt i størrelsesorden fra 20

km² og oppover. I så måte er størrelsen på nedbørfeltet til Bondalselva innenfor grunnlaget av hva de regionale kurvene dekker.

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 størst betydning. Vistdals nedbørfelt ligger en del lenger nordøst og har mer preg av innlandsklima med dominerende vårflom og sekundær høstflom. Målestasjonene Dalsbøvatn, Hareidselv og Engsetvatn har lavere høydefordeling og ligger litt lenger ut mot kysten. Bondalselva vil derfor ha litt senere og lengre snøsmelting enn disse feltene. De skiller seg også fra Bondalselvas nedbørfelt ved en langt høyere effektiv sjøprosent, men hvilken betydning dette har for frekvensfaktorene Q_T/Q_M er mer usikkert. Flomfrekvensfaktorene for de regionale kurvene ligger lavere enn alle målestasjonene i tabell 3 med unntak av Hareidselv, Skjåstad og Vistdal. Hareidselv har få år med data og flommene ved Skjåstad vurderes som usikre (se kapittel 3). De regionale kurvene er basert på vannføringsstasjoner fra et langt større område av Norges kyst, og variasjonene i klima vil trolig være større der enn for utvalget av stasjoner benyttet i tabell 3. det kan derfor virke som flomfrekvensfaktorene i Bondalselva skal være høyere enn den regionale kurven for region K2.

Tabell 3. Flomfrekvensanalyser av årsflommer for aktuelle målestasjoner, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun et al. 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
				l/s•km ²	m ³ /s							
91.2 Dalsbøvatn	34-02	68	25.6	422	10.8	1.25	1.48	1.69	1.99	2.21	2.44	2.75
94.10 Steinkvivatn	63-70	8	20.8	660	13.7	-	-	-	-	-	-	-
96.3 Hareidselv	86-02	17	40.2	343	13.8	1.21	1.39	1.56	1.77	1.93	2.10	2.31
97.1 Fetvatn	46-02	55	89.2	825	73.6	1.36	1.65	1.93	2.29	2.56	2.83	3.18
97.2 Saurevatn	66-01	35	37.2*	659*	24.5	1.25	1.48	1.72	2.04	2.30	2.58	2.97
97.4 Skjåstad	67-97	31	10.2	321	3.3	1.18	1.34	1.50	1.72	1.88	2.06	2.29
98.4 Øye ndf	16-01	85	139	434	60.3	1.23	1.47	1.74	2.12	2.44	2.79	3.29
101.1 Engsetvatn	24-02	79	39.9	257	10.3	1.23	1.47	1.72	2.09	2.40	2.74	3.25
104.23 Vistdal	75-01	26	66.4	547	36.3	1.24	1.42	1.58	1.80	1.95	2.10	2.30
Bondalselva	-	-	89.0	-	-	1.25	1.50	1.70	2.05	2.30	2.60	3.00
Regional kurve K2	-	-	-	-	-	1.24	1.44	1.59	1.87	2.05	2.27	2.49

* Nedbørfeltets areal er fratrukket regulert felt på 8.7 km² som er overført ut. Dette påvirker også spesifikk middelflom.

Som representativ frekvensfordeling for Bondalselva er det valgt å bruke frekvensfaktorene funnet ved Saurevatn avrundet til nærmeste 0.05 pga usikkerheten i valg av kurve. Klimaet anses å være noenlunde likt for Bondalselva og Saurevatn. Flomfrekvensfaktorene blir også de samme om man velger å ta gjennomsnittet ved målestasjonene Dalsbøvatn og Engsetvatn tilsvarende det Pettersson (2002) kom frem til for Ørstavassdraget. Kurven ligger også mellom verdiene funnet ved Fetvatn og regionale verdier gitt i Sælthun et al. (1997).

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 ulike deler vil nå hovedvassdraget til litt forskjellig tid. Spesifikk middelflom vil også avta med økt effektiv sjøprosent, ved at sjøer har flomdempende effekt.

Spesifikk middelflom varierer relativt mye for stasjonene i området (tabell 3) og ligger i størrelsesorden fra 257 l/s pr. km² til 825 l/s pr. km². Som nevnt tidligere vurderes flomdata for 97.1 Fetvatn for å gi for høye estimater pga en blanding av døgnmiddel- og kulminasjonsverdier i datagrunnlaget. Spesifikk middelflom etter at det ble montert kontinuerlig registrerende utstyr ved stasjonen, i perioden 1973 – 2002, er 671 l/s pr. km². Skjåstad har som nevnt tidligere usikre flomverdier og ses bort i fra. Dalsbøvatn, Steinkvivatn, Hareidselv, Saurevatn og Engsetvatn har alle langt høyere effektiv sjøprosent enn Bondalselva, mens Øye ndf. og Vistdal har lavere normalavløp. Høy effektiv sjøprosent har som kjent en reduserende effekt på flommer.

For stasjon 101.1 Engsetvatn er det i NVEs hydrologiske database beregnet en tilløpsserie til Engsetvatn, der effekten av selvreguleringen i vannet er ”fjernet”. I tilløpsserien til Engsetvatn kan effektiv sjøprosent regnes for å være tilnærmet lik null, og denne serien vil egne seg bedre til sammenligning. Tilløpsserien til Engsetvatn gir en middelflom på 624 l/s pr. km². Ettersom tilløpsserien er en beregnet serie (beregnet ved usentrerte differanser), er dette estimatet noe usikkert.

I Sælthun et al. (1997) er det utarbeidet regionale flomformler for beregning av spesifikk middelflom som bygger på regresjon mot feltparametere. For Bondalselvas nedbørfelt er følgende formel aktuell:

$$\text{Region K2: } \ln(Q_M) = 1.1524 \cdot \ln(Q_N) - 0.0463 \cdot A_{SE} + 1.57$$

Spesifikk middelflom beregnes med bakgrunn i årlig middelavrenning i l/s pr. km² (Q_N) og effektiv sjøprosent (A_{SE}). Spesifikk middelflom beregnet med formelen for K2 gir 754 l/s pr. km². Verdiene ligger et stykke under det som er funnet ved Fetvatn for hele observasjonsperioden, men over det som er beregnet for perioden hvor kontinuerlig registreringsutstyr har vært montert. Flomformelen for middelflom i region K2 er testet for avløpsserien ved Engsetvatn og Vistdal. Flomformelen gir henholdsvis Q_M på 289 l/s pr. km² og 525 l/s pr. km², hvilket stemmer rimelig bra overens med observert Q_M som er 257 l/s pr. km² og 547 l/s pr. km². Det antas derfor at den regionale formelen for spesifikk middelflom stemmer godt. Sett i lys av at målestasjonene i tabell 3 generelt har høyere effektiv sjøprosent, så vil Bondalselva ha noe høyere spesifikk middelflom enn disse.

Med bakgrunn i dette antas en spesifikk middelflom i Bondalselva å ligge i størrelsesorden 750 l/s pr. km².

Med valgt verdi for middelflom, og flomfrekvensfordelingen som antas representativ for Bondalselva (tabell 3), blir de resulterende flomverdiene som vist i tabell 4. Bidraget fra Holelva for ulike gjentakintervaller, beregnes som en andel av flomvannføringen i Bondalselva

skalert med hensyn på areal og normalavløp. Pga høyere estimert normalavløp i Holelva blir de spesifikke flommene for gitte gjentaksintervaller større enn de tilsvarende i Bondalselva.

Tabell 4. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall i Bondalselva, døgnmiddelvanntføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q_M		Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}
		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
Bondalselva	89.0	750	67	83	100	113	137	154	174	200
Holelva	3.6	972	3.5	4.3	5.2	5.9	7.1	7.9	9.0	10.4

4.3. Beregning av kulminasjonsvanntføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmiddelvanntføring. I små vassdrag vil kulminasjonsvanntføring være atskillig større enn døgnmiddelvanntføringen. Dette er spesielt karakteristisk i vassdrag hvor vanntføringen kan stige raskt og flommene har et spisst forløp. Små nedbørfelter med lav effektiv sjøprosent vil typisk ha et raskere og spissere flomforløp sammenlignet med større nedbørfelter med høyere effektiv sjøprosent. Bondalselva har både et lite nedbørfelt og relativt lav effektiv sjøprosent, og flomforløpene antas å ha et spisst forløp.

Forholdet mellom kulminasjonsvanntføring (momentanvanntføring) og døgnmiddelvanntføring ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$) 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, og/eller eventuelt i nærliggende vassdrag, avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning. Som tidligere konstatert finnes det ikke grunnlag for å anslå forholdet mellom kulminasjonsvanntføring og døgnmiddelvanntføring i Bondalselva med bakgrunn i observerte data. Forholdstallet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ for Bondalselva er dermed utelukkende beregnet med utgangspunkt i nærliggende og lignende målestasjoner i området, og beregnede forholdstall fra eksisterende formelverk. De fleste aktuelle målestasjonene i omegnen har langt større effektiv sjøprosent enn Bondalselvas nedbørfelt (tabell 2). Disse stasjonene anses ikke som egnet som utgangspunkt for en vurdering av forholdstallet mellom kulminasjonsvanntføring og døgnmiddelvanntføring i Bondalselva pga flomdempingseffekten til sjøer.

Tabell 5. Kulminasjons- og døgnmiddelvanntføringer ved Fetvatn.

Dato	Kulminasjon m ³ /s	Døgnmiddel m ³ /s	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ m ³ /s
23.11.1994	153	91.2	1.68
27.12.1975	129	89.5	1.44
26.10.1983	152	86.6	1.76
17.09.1978	123	79.7	1.54
22.08.1980	118	77	1.53

For Fetvatn er de fem største høstflommene (døgnmiddel) sammenlignet med tilhørende kulminasjonsvannføringer i perioden etter 1973. Tabell 5 viser kulminasjons-, døgnmiddelvannføring og forholdstallet, $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$, mellom disse. Ved Fetvatn er kulminasjonsvannføringen i gjennomsnitt ca 60 % større enn døgnmiddelvannføringen for høstflommer.

I Sælthun et al. (1997) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ og feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent) for vår- og høstsesong. For vårflokker gjelder formelen:

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

mens formelen for høstflommer er:

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

hvor A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent. For Bondalselva benyttes formelen for høstflommer, da intensiv nedbør i form av regn er den dominerende årsaken til flommer. Formelen gav et forholdstall på 1.68. Siden Bondalselva har mindre flomdemping i form av sjøer enn Fetvatn, er det å forvente at forholdstallet skal være høyere i dette vassdraget. Det antas derfor at den regionale formelen gir et rimelig estimat, og verdien 1.68 benyttes som forholdstall mellom $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ for Bondalselva.

Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentaksintervall i Bondalselva er vist i tabell 6. Flomverdiene er på grunn av usikkerheter i analysene avrundet til nærmeste hele m^3/s . Bidraget fra Holelva antas å ha samme forholdstall som Bondalselva. En flomberegning for Holelva isolert sett vil trolig gi et høyere forholdstall for $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$. Ved å anta at kulminasjonstidspunktet for Bondalselva og Holelva ikke sammenfaller helt i tid, vil dette jevnes ut.

Tabell 6. Flomverdier i Bondalselva ved utløpet i fjorden og bidrag fra Holelva, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km^2	$Q_{\text{mom}}/$ 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
Bondalselva ved utløpet i fjorden	89.0	1.68	112	140	168	191	230	258	292	336
Holelva (tilløp til Bondalselva)	3.6	1.68	5.8	7.3	8.7	9.9	11.9	13.3	15.1	17.4

5. Observerte flommer

I NVEs hydrologiske database Hydra II finnes ingen observasjoner av vannføring i Bondalselva. For en mulig kalibrering av en hydraulisk modell i forbindelse med vannlinjeberegninger i Bondalselva, er det ønske om flomvannføring for flommene i 1957, 1962 og 1983. En oversikt over flommer ved målestasjonene i omegnen, som danner grunnlag for frekvensanalysene i kapittel 4.1, viser at flere av de store flomepisodene i området har inntruffet til noenlunde samme tidspunkt. I tabell 7 er registrerte vannføringer ved aktuelle målestasjoner gitt for de aktuelle datoene. Noen av hendelsene har hatt mer lokal karakter, noe som gir utslag i relativt varierende størrelser sett i forhold til beregnet middelflom i vassdragene. Kulminasjonstidspunktet varierer også mellom vassdragene.

Den 6. oktober 1957 var det stor flom i Bondalselva. Flommen kom som en følge av mye nedbør i kombinasjon med snøsmelting i fjellet. Flommen gjorde skader på veier, dyrket mark, hus og elfeforbygninger. Rundt midten av august 1962 gjorde flommen i Bondalselva en del mindre skader og rensket opp i elva etter forbygningsarbeider. Elveforbygningene holdt derimot stand for flommen. I slutten av oktober 1983 var det pga store nedbørmengder stor vannføring i vassdragene på Nordvestlandet.

Tabell 7. Vannføringer ved nærliggende målestasjoner til Bondalselva for flommene 6. oktober 1957, 13. august 1962 og 26. oktober 1983.

Stasjon	Dato	Døgnmiddelf.		Kulm.vf.	
		m ³ /s	l/s km ²	m ³ /s	l/s km ²
91.2 Dalsbøvatn	06.12.1957	9.4	367	-	-
97.1 Fetvatn	06.12.1957	15.1	169	-	-
98.4 Øye ndf.	06.12.1957	61.6	443	-	-
101.1 Engsetvatn	06.12.1957	13.7	343	-	-
91.2 Dalsbøvatn	13.08.1962	3.7	144	-	-
97.1 Fetvatn	09.08.1962	139.7	1566	-	-
98.4 Øye ndf.	13.08.1962	69.4	499	-	-
101.1 Engsetvatn	13.08.1962	2.6	65	-	-
91.2 Dalsbøvatn	26.10.1983	10.4	406	-	-
97.1 Fetvatn	26.10.1983	86.6	963	152.0	1704
97.2 Saurevatn	26.10.1983	34.6	930*	69.0	1855*
98.4 Øye ndf.	26.10.1983	98.8	710	148.8	1071
101.1 Engsetvatn	27.10.1983	18.8	471	19.3	484
104.23 Vistdal	27.10.1983	61.6	928	98.5	1483

* Hvis det var overløp ved overføringene ut av vassdraget vil spesifikk flom være mindre.

Ut i fra de store variasjonene i spesifikk vannføring og tidspunkt som flommene inntreffer, er det vanskelig å si noe om mulige flomstørrelser i Bondalselva på gjeldende tidspunkter. Flommene i 1957 og 1962 er også langt tilbake i tid og det finnes ingen opplysninger om kulminasjonsvannføringer. Det er derfor ikke gjort noe anslag av størrelsene på vannføringer i Bondalselva for de gitte datoene.

6. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i Bondalselva kan karakteriseres som dårlig. Det foreligger ingen vannføringsdata fra vassdraget. Alle beregninger er basert på observasjoner fra målestasjoner i nærliggende vassdrag og regionale formelverk. Det er relativt store variasjoner i både spesifikk middelflom og frekvensfaktorer mellom målestasjonene. Dette viser at Bondalselva ligger i et område med lokale forskjeller i flomregimet. Store usikkerheter innføres derfor når det foretas flomfrekvensanalyser basert kun på representativiteten av nærliggende målestasjoner, uten å kunne gjøre sammenligninger med direkte målinger i selve vassdraget.

Det er knyttet opp til $\pm 20\%$ usikkerhet ved estimering av spesifikk avrenning fra avrenningskartet. Usikkerheten vil i alminnelighet øke for avtakende feltstørrelse (Beldring et al. 2002). En sammenligning med andre stasjoner i området viser en god overensstemmelse mellom observert avrenning og avrenningskartet. Usikkerheten i årlig middelaavrenning for Bondalselva er derfor trolig lavere enn dette tallet.

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 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.

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 mer eller mindre større enn største kalenderdøgnmiddel.

En annen faktor som fører til usikkerhet 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.

I tillegg er dataene med fin tidsoppløsning ikke kontrollerte på samme måte som døgndataene og er ikke kompletterte i tilfelle observasjonsbrudd. Det foreligger heller ikke data med fin tidsoppløsning på databasen lenger enn cirka 15 år tilbake. Det er derfor ikke mulig å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Med basis i usikkerhetsmomentene nevnt ovenfor kan datagrunnlaget for beregningene karakteriseres som mangelfullt. Flomberegningen klassifiseres derfor i klasse 3, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

Referanser

Astrup, M. 2001: Avløpsnormaler. Normalperioden 1961-1990. NVE Rapport nr. 2 – 2001.

Astrup, M. 2000: Homogenitetstest av hydrologiske data. NVE Rapport nr. 7 – 2000.

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

NVE 2002: Avrenningskart for Norge 1961 – 1990, 1:500 000. Hydrologisk avdeling.

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

Pettersson, L. E. 2002: Flomberegning for Ørstavassdraget. NVE Dokument 9 – 2002.
Flomsonekartprosjektet.

Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og 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 2003

- Nr. 1 Erik Holmqvist: Flomberegninger i Vosso (062.Z) Flomsonekartprosjektet. (37 s.)
- Nr. 2 Lars-Evan Pettersson: Flomberegninger for Lakselva i Misvær. Flomsonekartprosjektet (16 s.)
- Nr. 3 Eirik Traae, Anette Werkland: Program for økt sikkerhet mot leirskred. Risiko for kvikkleireskred i Skienselva – forslag til tiltak (18 s.)
- Nr. 4 Inger Sætrang: Statistikk over tariffer i distribusjonsnettet 2003 (39 s.)
- Nr. 5 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Batnfjordelva (108.3Z). Flomsonekartprosjektet (22 s.)
- Nr. 6 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Sogndalselvi (077.3Z). Flomsonekartprosjektet (25 s.)
- Nr. 7 Inger Sætrang: Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft 2002 (16 s.)
- Nr. 8 Thomas Væringstad: Flomberegning for Sandvikselva (008.Z)Flomsonekartprosjektet. (21 s.)
- Nr. 9 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Gaula i Sogn og Fjordane (083.B) Flomsonekartprosjektet (25 s.)
- Nr. 10 Tharan Fergus og Jan Henning L'Abée-Lund (red.): Vannforvaltning i Østerrike Fagtur for Seksjon for plan og miljø, 2003 (26 s.)
- Nr. 11 Arne T. Hamarsland, Knut Aune Hoseth, Jan Henning L'Abée-Lund: Program for miljøtiltak i vassdrag (33 s.)
- Nr. 12 Flomsonekartplan. Prioriterte strekninger for kartlegging i flomsonekartprosjektet. 25. september 2003
- Nr. 13 Lars-Evan Pettersson. Flomberegning for Stjørdalselva. Flomsonekartprosjektet.(17 s.)
- Nr. 14 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Flaksvatn i Tovdalselva (020.A8). Flomsonekartprosjektet. (17 s.)
- Nr. 15 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Figgjo. Flomsonekartprosjektet. (12 s.)
- Nr. 16 Roger Sværd: Flomberegning for Altavassdraget. Flomsonekartprosjektet. (57 s.)
- Nr. 17 Thomas Væringstad: Flomberegning for Moldeelva. Flomsonekartprosjektet. (s.)
- Nr. 18 Thomas Væringstad: Flomberegning for Bondalselva. Flomsonekartprosjektet. (24 s.)