



Flomsonekartprosjektet
**Flomberegning
for Fjellhammarelva/Sagelva**

*Turid-Anne Drageset
Lars-Evan Pettersson*

4
2005



D
O
K
U
M
E
N
T

Flomberegning for Fjellhammarelva/Sagelva (002.CBZ)

Dokument nr. 4 - 2005

Flomberegning for Fjellhammarelva/Sagelva (002.CBZ)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Turid-Anne Drageset/Lars-Evan Pettersson

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 25

Forsidefoto: Langvann fra sørøst (Foto: Lars-Evan Pettersson, NVE-HV)

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for flomutsatt elvestrekning i Fjellhammarelva/Sagelva i Lørenskog og Skedsmo kommuner, Akershus. Flomvannføringer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for ni steder i vassdraget.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Fjellhammarelva, Sagelva

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

April 2005

Innhold

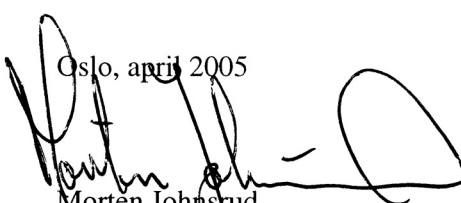
Forord	4
Sammendrag.....	5
1. Beskrivelse av oppgaven	6
2. Beskrivelse av vassdraget	7
3. Hydrometriske stasjoner	11
3.1. Hydrometriske stasjoner i Sagelvavassdraget	11
3.2. Hydrometriske stasjoner i nærliggende vassdrag	11
4. Observerte flommer i Fjellhammarelva.....	13
5. Flomfrekvensanalyser	14
6. Beregning av flomverdier	20
6.1. Middelflom	20
6.2. Flomverdier for ulike gjentaksintervall	21
6.3. Kulminasjonsvannføring.....	24
7. Usikkerhet.....	25
Referanser	26

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 i Fjellhammarelva/Sagelva i Lørenskog og Skedsmo kommuner i Akershus. Rapporten er utarbeidet av Turid-Anne Drageset og Lars-Evan Pettersson og kvalitetskontrollert av Erik Holmqvist.

Oslo, april 2005



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

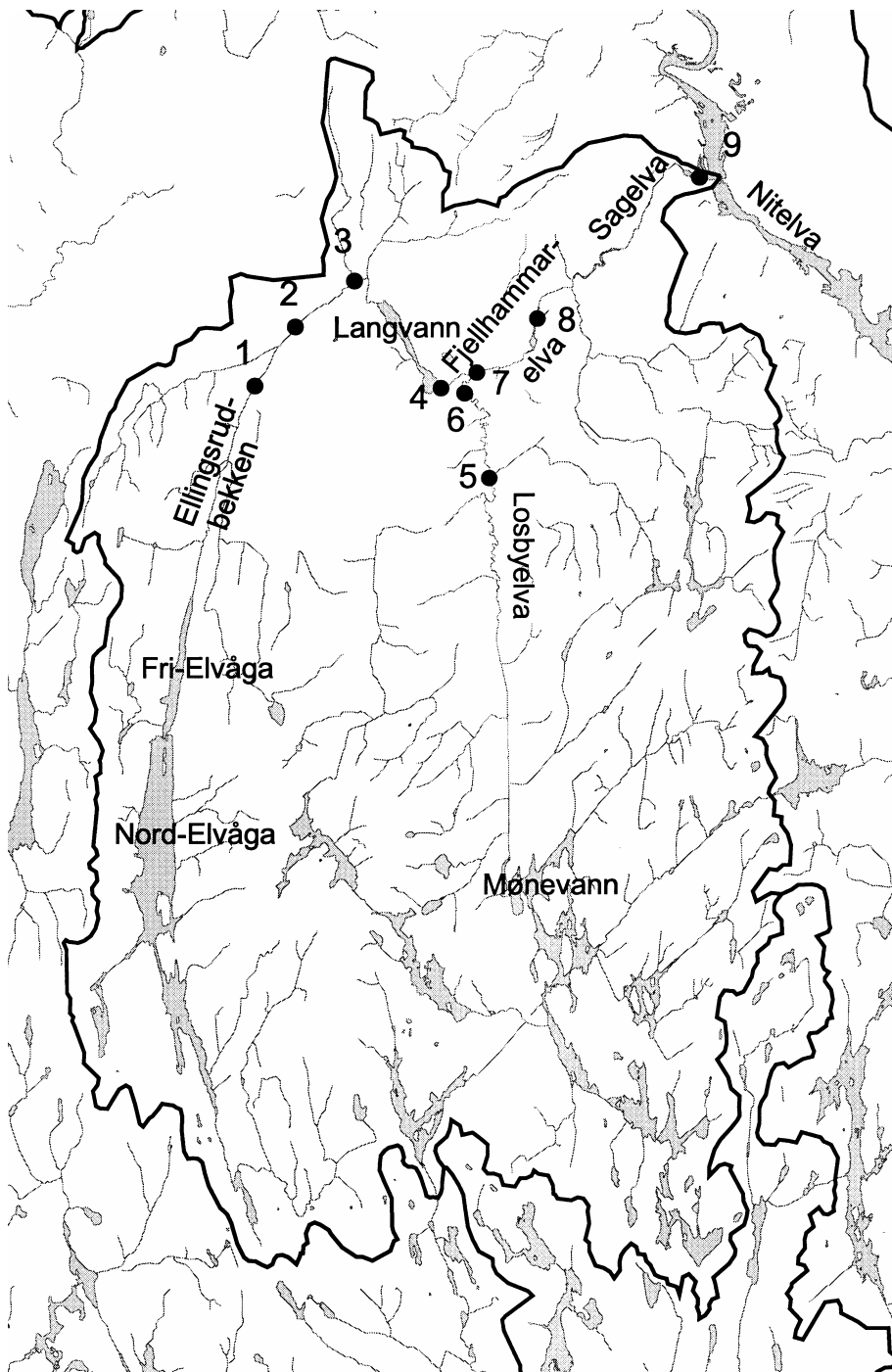
Flomberegningen for Fjellhammarelva/Sagelva gjelder ett delprosjekt i NVEs Flomsonekartprosjekt: fs 002_38 Fjellhamar. Kulminasjonsvannføringer ved forskjellige gjentaksintervall er beregnet for ni steder i vassdraget. Beregningen er basert på regionale formelverk og data fra målestasjoner i og nært vassdraget. Deler av vassdraget er regulert til vannforsyning. Resultatet av flomberegningen ble:

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M m ³ /s	Q ₅ m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₂₀ m ³ /s	Q ₅₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₅₀₀ m ³ /s
Ellingsrubbekken ved Ellingsrud bru	26.1	4	5	6	7	8	9	9	10
Ellingsrubbekken ved Visperud bru	30.2	4	5	7	8	10	11	12	13
Ellingsrubbekken ved Robsrud bru	31.9	4	6	7	8	11	12	13	14
Fjellhammarelva ved utløp Langvann	38.6	5	7	9	10	14	15	17	19
Losbyelva ved Gamleveien bru	50.3	9	12	14	16	19	21	23	25
Losbyelva ved Strømsveien bru	54.5	11	14	16	18	21	24	26	29
Fjellhammarelva nedstrøms tilløp Losbyelva	94.0	16	21	25	28	35	39	42	47
Fjellhammarelva ved Fjellhammar bru	96.6	16	21	25	29	36	39	43	47
Sagelva ved utløpet i Nitelva	109.0	17	22	27	31	38	42	46	51

Datagrunnlaget for beregningen er rimelig godt og beregningen klassifiseres i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for flomutsatte elvestrekninger i Sagelvavassdraget, som faller inn under delprosjekt fs 002_38 Fjellhamar i NVEs Flomsonekartprosjekt. Som grunnlag for flomsonekartkonstruksjonen skal kulminasjonsverdier for middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes for ni steder i elva fra Sagelvas utløp i Nitelva til Ellingsrud bru i Ellingsrudbekken og i Losbyelva opp til Gamleveien bru.

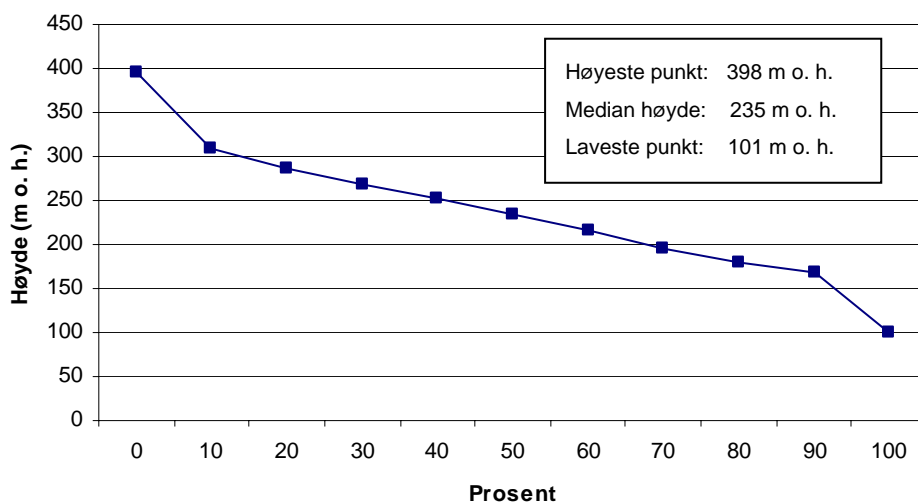


Figur 1. Kart over Sagelvavassdragets nedbørfelt. Stedene som skal flomsonekartlegges er markert med punkt og tall.

2. Beskrivelse av vassdraget

Nedbørfeltet til Fjellhammarelva/Sagelva ligger i Akershus fylke, og renner gjennom kommunene Enebakk, Lørenskog, Oslo, Skedsmo, Ski og Rælingen. Elva er i de midtre og nedre delene med tiden blitt omkranset av tett bosetting og næringsvirksomhet. Det bor omlag 50 000 mennesker innenfor nedbørfeltet til Sagelvavassdraget i kommunene Lørenskog, Skedsmo, Rælingen og Oslo. Øvre deler av vassdraget ligger i Østmarka og er mye benyttet til rekreasjon og friluftsliv. Ved Østmarkas grense er det også betydelige jordbruksarealer innenfor nedbørfeltet til Sagelvavassdraget. Østmarka er preget av at den er dannet av gammelt grunnfjell (mer enn 1000 millioner år gammelt) med tydelige foldninger som danner markerte daler og åsrygger i retning nord-sør. Sagelvavassdraget har to hovedgrener som følger dalsøkkene i nordlig retning: Elvåga/Ellingsrubbekken og Losbyelva. Elvåga har sitt utspring i Eriksvann i sør som renner inn i Elvågavannene og videre ut i Ellingsrubbekken, deretter inn i Langvann ved Lørenskog og ut i Fjellhammarelva. Ved utløpet av Langvann har elva et nedbørfelt på 38,6 km². Losbyelva har tilsig fra en rekke vann i Østmarka som samles i Mønevann, og som renner inn i det som kalles Losbyelva. Losbyelva renner inn i Fjellhammarelva 400-500 meter nedstrøms Langvann. Ved utløpet i Fjellhammarelva har Losbyelva et nedbørfelt på 54,5 km². Fra kommunegrensen mellom Lørenskog og Skedsmo går Fjellhammarelva over i Sagelva. Ved utløpet i Nitelva, som renner inn i Øyeren, har vassdraget et samlet areal på 109 km². Høyeste punkt er Barlinderåsen med 398 moh., mens vassdragets midlere høyde er 235 moh. Figur 1 viser oversiktskart over vassdraget og figur 2 viser høydefordelingen i nedbørfeltet.

Den delen av Fjellhammarelvas nedbørfelt som drenerer til Langvann, Elvåga/Ellingsrubbekken, er regulert til drikkevannsforsyning. Elvågavannene er drikkevannskilde for Oslo. I denne forbindelse ble Elvågavannene demt opp i 1964, Nord-Elvåga med 9 meter og Sør-Elvåga med 4 meter, til et sammenhengende vann, kalt Nord-Elvåga. Nord-Elvåga har HRV på 195,00 moh. I dag blir drikkevannet fra Nord-Elvåga overført til Skullerud vannrenseanlegg via en 4 km lang tunnel. I de fire årene 2000-2003 var det et gjennomsnittlig uttak av drikkevann fra



Figur 2. Hypsografisk kurve for Sagelvas nedbørfelt. Kurven viser hvor stor andel av det totale feltarealet (109 km²) som ligger over en gitt høyde.

Tabell 1. Råvannsutttak fra Nord-Elvåga 2000-2004. Kilde: Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

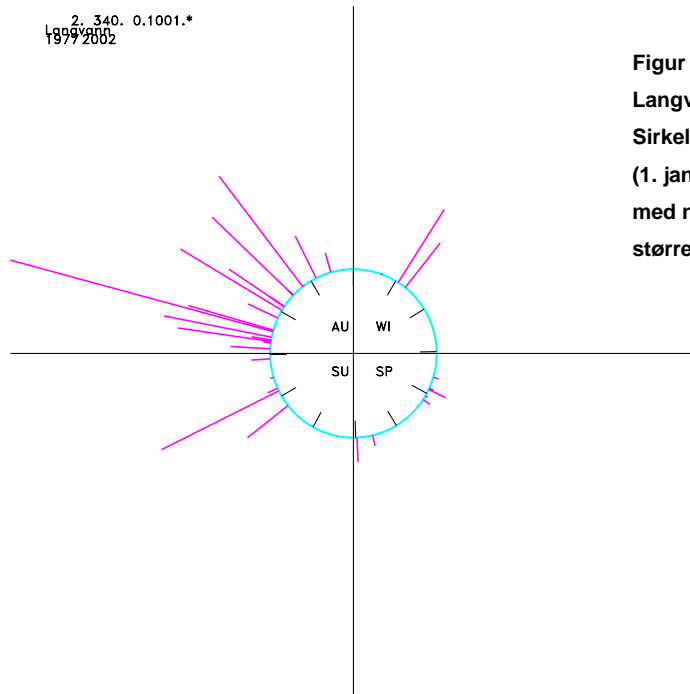
	2000 (mill. m ³)	2001 (mill. m ³)	2002 (mill. m ³)	2003 (mill. m ³)	2004 (mill. m ³)	Gjennomsnitt 2000-2003 (mill. m ³)	Gjennomsnitt 2000-2003 (m ³ /s)
Januar	1,144	1,159	1,039	0,929	0,936	1,068	0,41
Februar	1,061	1,108	0,945	0,901	0,882	1,004	0,39
Mars	1,060	1,178	0,567	1,037	0,518	0,961	0,37
April	0	1,055	0,052	0,954	0,085	0,515	0,20
Mai	0,090	1,073	0,352	0,987	0,323	0,626	0,24
Juni	0,972	0,961	0,880	0,930	0,677	0,936	0,36
Juli	0,929	0,945	0,775	0,879	0,589	0,882	0,34
August	0,996	0,959	0,910	0,934	0,865	0,950	0,37
September	0	0,875	0,799	0,794	0,093	0,617	0,24
Oktober	0,681	0,904	0,835	0,827	-	0,812	0,31
November	0,957	0,888	0,781	0,147	-	0,693	0,27
Desember	0,990	0,989	0,886	0,523	-	0,847	0,33
Gjennomsnittlig vannuttak pr. år:						9,910	0,31

Nord-Elvåga på 0,31 m³/s (tabell 1). Normalavløpet fra Nord-Elvågas nedbørfelt beregnet fra avrenningskart for perioden 1961-90 er 0,35 m³/s. Med andre ord tas i gjennomsnitt nesten alt naturlig tilsig til vannforsyning i et normalår (beregnet for årene 2000-2003). Nedstrøms Nord-Elvåga ligger Fri-Elvåga, som også er et oppdemt vann, men som ikke nyttes til vannforsyning. Demningen her manøvreres med hensyn på å tilfredsstille minstevannføring i Ellingsrudbekken. Inntil 2004 var minstevannføringen i Ellingsrudbekken 34 l/s hele året, men ble i 2004 endret til 20 l/s i tidsrommet 1. november til 30. april og 48 l/s i tidsrommet 1. mai til 31. oktober, med et snitt på 34 l/s over året. Fri-Elvåga har et lite naturlig nedbørfelt, så 1-2 ganger i året tappes det noe vann fra Nord-Elvåga for å fylle opp Fri-Elvåga. For å ha en reserve drikkevannskilde for Maridalsvannet, som er hovedkilde for Oslos vannforsyning, er det ikke ønskelig å tappe Nord-Elvåga ned med mer enn til sammen 2,0 - 2,5 m.

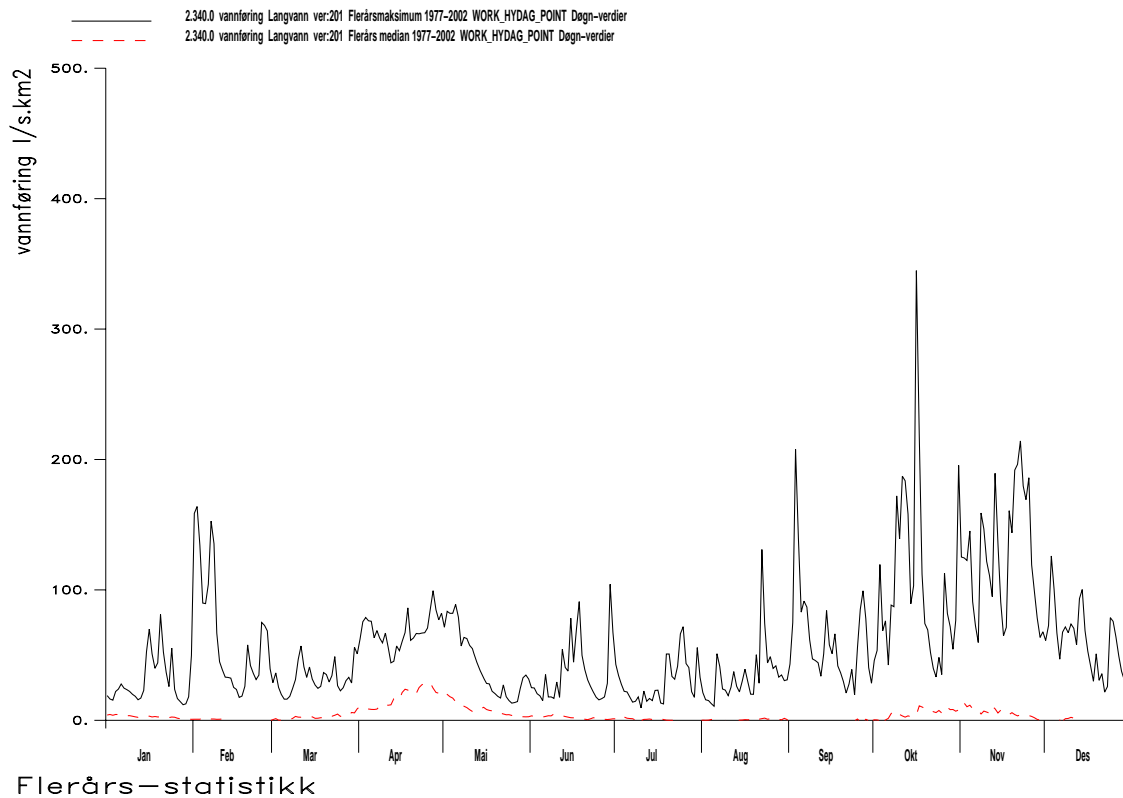
Den andre forgreiningen i Sagelvavassdraget, Losbyelva, har nå naturlig avrenning uten regulering. Tidligere var deler av nedbørfeltet benyttet for drikkevannsforsyning.

Datagrnnlaget med hensyn på målt vannføring i Sagelvavassdraget er tynt. Det er gjort noe måling av vannstand/vannføring på forskjellige steder i den regulerte delen av vassdraget i tilknytning til problematikken rundt Romeriksporten, men disse målingene har kun pågått i en kort periode, omkring årene 1997-2001. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 3. Korte observasjonsperioder som dette er ikke egnet til statistiske analyser av avrenningen i vassdraget. For å illustrere de hydrologiske forholdene i den delen av vassdraget der det er foretatt vannføringsobservasjoner i korte perioder, Elvåga/Ellingsrudbekken, er det derfor konstruert en lengre dataserie for perioden 1977-2002 ved utløpet av Langvann med bakgrunn i den observerte måleserien i 1998-2001. Forlengelse av serien er gjort ved regresjonsanalyse som er nærmere beskrevet i kapittel 5. Med dette som utgangspunkt viser figurene 3 og 4 de hydrologiske forholdene i Fjellhammarelva ved utløpet av Langvann oppstrøms tilløpet fra Losbyelva. Figur 3 viser relativ flomstørrelse og tidspunkt for flommer over en gitt terskelverdi,

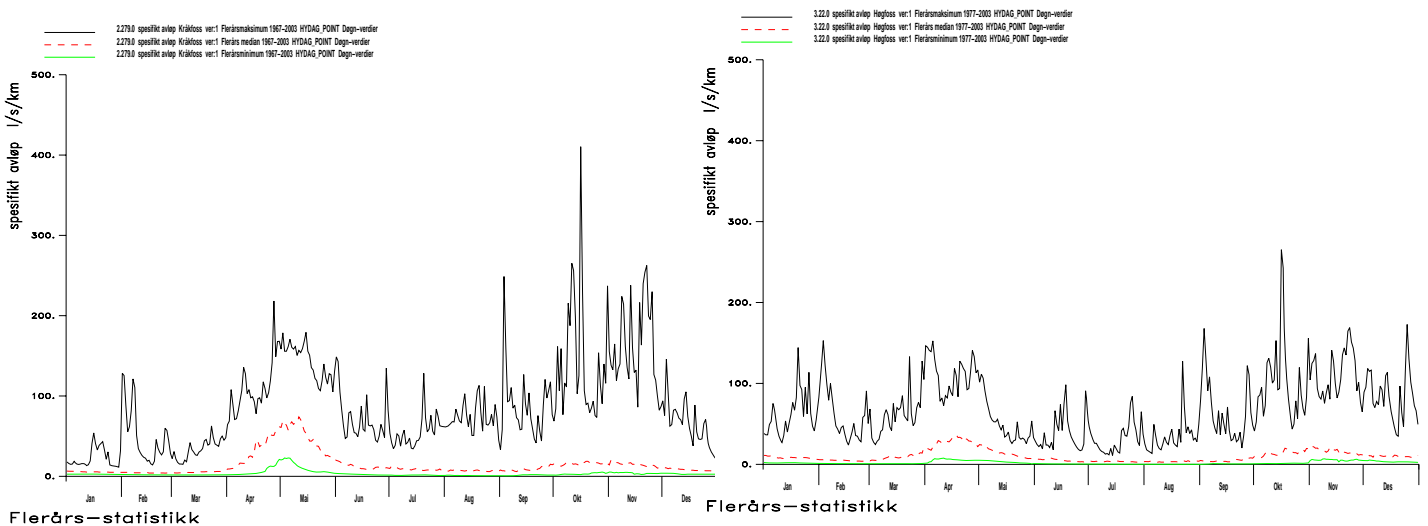
i dette tilfellet $3,1 \text{ m}^3/\text{s}$, som tilsvarer omtrent 70 % av middelflom. Figur 4 viser karakteristiske vannføringsverdier for hver dag i løpet av året. Øverste kurve (maksimum) viser største observerte vannføring og nederste kurve angir mediankurven, dvs. at det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større eller mindre enn denne. Figur 3 og 4 viser at flommer i Fjellhammarelva i hovedsak inntreffer om høsten i månedene oktober og november. Figur 5 viser karakteristiske vannføringsverdier gjennom året for de to målestasjonene i nærheten, Kråkfoss i Leira og Høgfoss i Hobølelva, som er best korrelert med avrenningen ved utløpet av Langvann i de to årene 1999 og 2000. Disse kurvene viser både største, median og minste observerte vannføring for hver dag gjennom året. Minste vannføring er ikke vist for utløpet av Langvann (figur 4), fordi resultatet av regresjonsanalysen gir små negative verdier på lav vannføring ved Langvann.



Figur 3. Estimerte flommer ved utløpet av Langvann i 1977-2002, fordelt over året. Sirkelen representerer året med start på året (1. januar) rett opp. Flommene er markert med når på året de inntreffer og med relativ størrelse.



Figur 4. Estimerte karakteristiske vannføringsverdier i Fjellhammarelva ved utløpet av Langvann i perioden 1977-2002. Diagrammet viser største og median vannføring i angitt periode.



Figur 5. Observerte karakteristiske vannføringsverdier i to nærliggende vassdrag, Kråkfoss i Leira (til venstre) og Høgfoss i Hobølelva (til høyre) der vannføringen er godt korrelert med vannføringen ved utløpet av Langvann. Diagrammet viser største, median og minste vannføring i angitt periode.

3. Hydrometriske stasjoner

3.1. Hydrometriske stasjoner i Sagelvasvassdraget

I Fjellhammarelvas/Sagelvas nedbørfelt finnes flere målestasjoner for vannstand/vannføring i NVEs hydrologiske database, men kun for en kortere periode fra slutten av 1990-tallet til begynnelsen av 2000-tallet. Stasjonene ble etablert i forbindelse med anlegget av jernbanetunnelen Romeriksporten. I tillegg finnes en målestasjon for vannstand/vannføring nederst i Sagelva, som drives av Nedre Romerike vannverk. Data fra denne stasjonen finnes ikke på NVEs database, men er gjort tilgjengelig i forbindelse med dette prosjektet (daglige vannføringsdata for perioden 1996-2005).

Av de målingene som finnes i vassdraget, og er lagret på NVEs database, er det kun data fra målestasjonen 2.340 Langvann helt nederst i nedbørfeltet til Elvåga/Ellingsrudbekken som direkte benyttes i beregningene. Ved Langvann er det gjort vannføringsmålinger ved utløpet i perioden 18.02.1998 til 20.06.2001. Stasjonen beskriver avrenningen fra Ellingsrudbekkens nedbørfelt i denne korte perioden, inkludert virkningene av overføringen av drikkevann ut av Elvåga. Målestasjonens feltareal er 38,6 km². Stasjonen ble opprettet i forbindelse med problematikken omkring anlegget av Romeriksporten. Datakvaliteten ved stasjonen er imidlertid usikker, fordi største vannføringsmåling som inngår i beregningen av vannføringskurven ved stasjonen er liten, kun 1,7 m³/s. Flomverdiene opp mot 13-14 m³/s, som ble registrert høsten 2000, er dermed svært ekstrapolerte. Dataserien ved Langvann er forlenget ved hjelp av regresjonsanalyse mot andre vannmerker i området (kap. 5).

I Losbyelvas nedbørfelt finnes ingen observasjoner av vannføring.

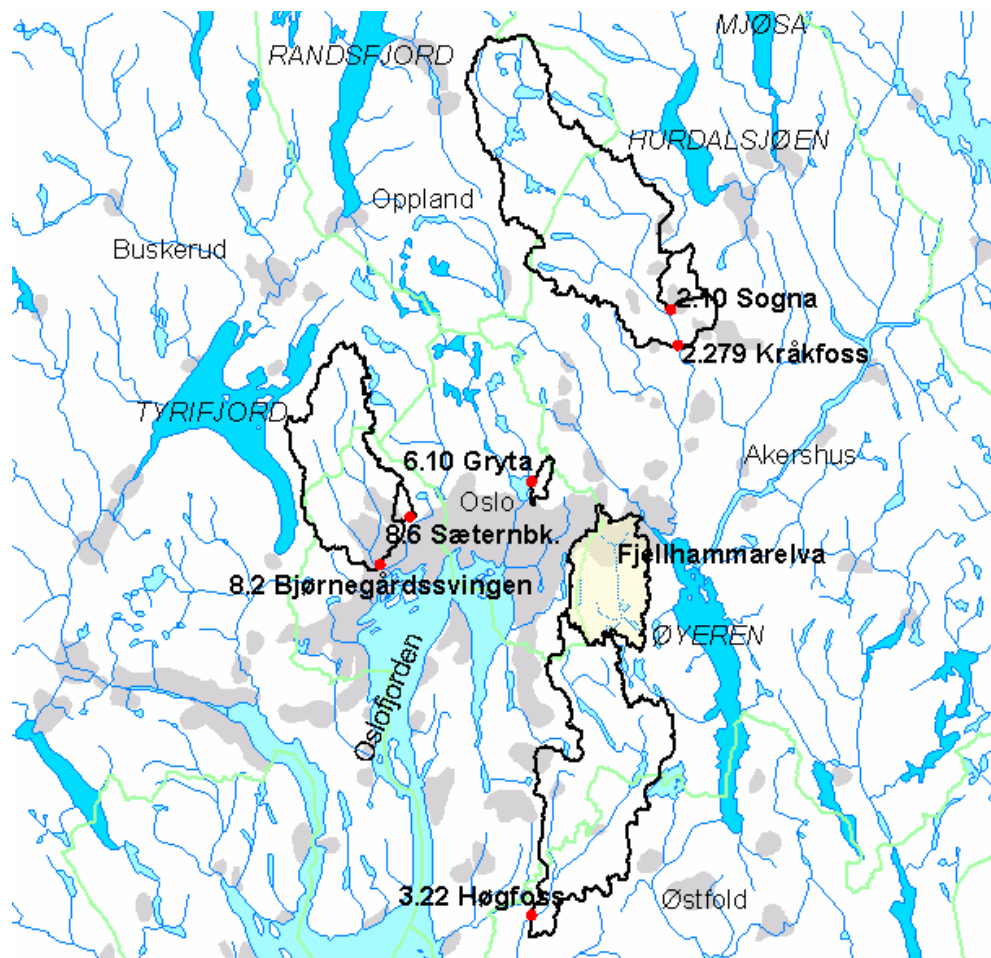
3.2. Hydrometriske stasjoner i nærliggende vassdrag

På bakgrunn av tynt datagrunnlag i Sagelvas nedbørfelt er det sammenlignet med flomfrekvensanalyser fra andre målestasjoner i nærliggende vassdrag. Målestasjonene er presentert i tabell 2 og geografisk beliggenhet er vist i figur 6.

Tabell 2. Feltparametre for målestasjoner i Sagelvasvassdragets omegn.

Stasjon	Måleperiode	Feltareal (km ²)	Eff. sjø (%)	Q _N (61-90)* (l/s·km ²)	Høydeintervall (moh.)	Median høyde (moh.)
2.279 Kråkfoss	1966-d.d.	433	0,41	19	140 - 812	440
3.22 Høgfoss	1976-d.d.	301	0,65	18	40 - 349	143
6.10 Gryta	1967-d.d.	7,0	0,49	21	163 - 438	302
8.2 Bjørnegårdsvingen	1968.d.d	190	0,02	19	4 - 681	343
8.6 Sæternbekken	1971-d.d.	6,3	0,00	18	105 - 423	242
2.340 Langvann	1998-2001	38,6	1,96	21	154 - 368	236
Losbyelva	-	54,5	0,89	21	151 - 396	244
Sagelva	-	109	0,42	21	101 - 396	235

* Q_N (61-90) betegner årsmiddelavrenningen i perioden 1961-1990.



Figur 6. Geografisk beliggenhet av målestasjoner som er benyttet i analysen.

6.10 Gryta ligger i Grytbekken som drenerer inn i Maridalsvann og videre til Akerselva fra Lillomarka. Feltet ligger ca 1 mil nordvest for Sagelva. Stasjonen ble opprettet i oktober 1967, og målinger pågår fremdeles. Stasjonens nedbørfelt er 7 km². Ved stasjonen er det montert et 120° V-overløp. Det er kun 1 % avvik mellom største vannføringsmåling og gjeldende vannføringskurve. Men største vannføringsmåling ved stasjonen er ca 0,8 m³/s som utgjør omtrent 60 % av middelflom. Det betyr at flomverdiene er beregnet ut fra den ekstrapolerte delen av vannføringskurven. Flomvannføringene ved denne stasjonen antas å være noe underestimerte med bakgrunn i at vannføringen vil underestimeres ved vannstander høyere enn overkant av V-overløpet. I henhold til Hans Christian Udnæs (NVE-HV) har vannstanden vært godt over V-overløpet ved flom. Nedbørfeltet er uregulert.

3.22 Høgfoss ligger i Hobøelva sør for Sagelvas nedbørfelt. Sagelvas sørlige vassdragsgrense sammenfaller med Hobøelvas nordlige vassdragsgrense. Stasjonen ble opprettet i september 1976, og målinger pågår fremdeles. Stasjonen driftes av Glommens og Laagens Brukseierforening. Stasjonens nedbørfelt er 301 km². Største vannføringsmåling ved stasjonen er 62 m³/s som utgjør omtrent en 20-årsflom. Denne flommålingen ga en vannføring som er 11

% større enn det gjeldende vannføringskurve gir for den aktuelle vannstanden. Det kan dermed se ut til at flommer ved stasjonen er noe underestimert. Nedbørfeltet er uregulert.

Målestasjonen 8.2 Bjørnegårdsvingen ligger i Sandvikselva i Bærum. Nedbørfeltet til stasjonen er 190 km². Største vannføringsmåling er på hele 135 m³/s (16/10-87) og er tatt samme dag som høyeste registrerte flom ved vannmerket. Dette er drøyt 3 ganger større enn døgnmiddelflommen (42 m³/s) og det er ikke noe avvik mellom største vannføringsmåling og gjeldende vannføringskurve. For denne stasjonen antas derfor flomverdiene å være pålitelige. Vannføringsregistreringen gikk over fra måling av døgnmiddel til fin tidsopløsning med timesverdier i 1986. Det er flere reguleringer i vassdraget, blant annet er flere vann regulert for vannforsyning til Bærum kommune. Det antas at disse reguleringene har en viss dempende effekt på mindre flommer, og mindre effekt på større flommer (Væringstad 2003).

Målestasjonen 8.6 Sæternbekken drenerer også til Sandvikselva. Nedbørfeltet til stasjonen er 6,3 km². Ved stasjonen er det montert et 120° V-overløp. Største vannføringsmåling er 0,78 m³/s, det tilsvarer snaut 50 % av middelflom. Det er ikke noe avvik mellom største vannføringsmåling og gjeldende vannføringskurve. Det er kun ett segment på vannføringskurven. Ved vannstander høyere enn overkant av V – overløpet, vil vannføringen underestimeres. I henhold til Hans-Christian Udnæs (NVE – HV) har vannstanden vært godt over V-overløpet under flom. Nedbørfeltet er uregulert.

Målestasjonen 2.279 Kråkfoss ligger i elva Leira litt sør for Gardermoen og har et nedbørfelt på 433 km². Det er utført mange vannføringsmålinger, og hvor den høyeste er målt til 114 m³/s. Dette utgjør 175 % av midlere flom og avviket fra vannføringskurven er på ca 5 %. Det har vært forandringer i profilet og tre ulike kurveperioder er benyttet. Nedbørfeltet er ubetydelig regulert.

Feltarealene er fastlagt ved en ny beregning av Seksjon for geoinformasjon ved Vannressursavdelingen, og kan avvike noe fra det som er oppgitt i NVEs hydrologiske database (HydraII).

4. Observerte flommer i Fjellhammarelva

I den korte perioden fra 18. februar 1998 til 20. juni 2001, da målinger av vannføring ble foretatt ved utløpet av Langvann (2.340 Langvann), var det en relativt stor flom i vassdraget høsten 2000. Flere påfølgende lavtrykk med oppholdsvær imellom gav flere flomkulminasjoner, men største døgnmiddeldkulminasjon ved Langvann var registrert til 13,3 m³/s den 22. november. Denne høsten var uvanlig rik på flomhendelser på Sør- og Østlandet. De nærliggende vassdragene nord for Sagelvavassdraget hadde største døgnmiddeldkulminasjon omkring 10.-11. oktober på 10-50-årsflommer, og disse vassdragene hadde også en mindre kulminasjon rundt 20.-22. november. Nærliggende vassdrag sør for Sagelvavassdraget hadde største flomkulminasjon rundt 20.-22. november på omkring 10-årsflom.

De fem største flommene ved utløpet av Langvann i perioden 1977-2002, beregnet ved regresjonsanalyse (kap. 5), er vist i tabell 3. Som det fremgår av tabellen blir flommen i

november 2000 underestimert med hele 40 % i den regresjonsestimerte serien sammenlignet med observert døgnmiddelkulminasjon som beskrevet over.

Tabell 3. De fem største estimerte årsflommene i løpet av perioden 1977-2002 ved Langvann i Fjellhammarelva.

Stasjon	Observasjonsperiode	År	Dato	Døgnmiddelvannføring, m ³ /s	Døgnmiddelvannføring, l/s·km ²
2.340 Langvann	1977-2002	1987	16.10.	13,3	345
		2000	22.11.	8,3	215
		1988	03.09.	8,0	207
		1983	17.10.	6,4	166
		1990	02.02.	6,3	163

I Fjellhammarelva/Sagelva forekommer de største flommene om høsten, noen ganger om vinteren. Enkelte år uteblir høstflommen slik at vårfloppen er den største. Sommerflommer er sjeldne. I perioden som dekkes av regresjonsanalysen (1977-2002) har oktober vært den mest flomrike måneden i Fjellhammarelva med 31 % av årsflommene, deretter følger november med 19 %, april med 15 % og juni med 12 %. Høsten sett under ett (september, oktober, november og desember) har hatt 65 % av årsflommene, mens våren (april, mai og juni) har hatt 31 % av flommene. Blant de ti største beregnede flommene ved Langvann har åtte forekommet om høsten, en om vinteren og én om våren.

Data fra Nedre Romerike vannverks målestasjon viser samme mønster når det gjelder tidspunkter for flommer. Største flom i hvert år i observasjonsperioden er vist i tabell 4.

Tabell 4. Den største observerte flommen hvert år i perioden 1996-2004 ved Nedre Romerike vannverks målestasjon i Sagelva.

År	Dato	Døgnmiddelvannføring, m ³ /s
1996	05.11.	10,8
1997	12.12.	8,5
1998	26.10.	9,8
1999	26.12.	12,9
2000	22.11.	24,9
2001	27.04.	12,3
2002	26.10.	12,4
2003	26.01.	5,6
2004	20.03.	8,3

5. Flomfrekvensanalyser

Som grunnlag for flomsonekartlegging er det valgt å beregne flomtall for ni steder i Sagelva-vassdraget fra Ellingsrud bru i Ellingsrubbekken og fra Gamleveien bru i Losbyelva til utløpet i Nitelva.

Flomforholdene i Ellingsrudbekken og dermed også Fjellhammarelva/Sagelva er påvirket av at vassdraget er regulert til vannforsyning. I et slikt regulert vassdrag er det vanskelig å utføre flomfrekvensanalyser slik at flomstørrelsene blir representative for dagens forhold. Med økende flomstørrelse vil sannsynligvis reguleringenes flomdempende effekt avta, slik at flomstørrelsene ved store gjentaksintervall nærmer seg naturlige (uregulerte) forhold. Nedre del av nedbørfeltet er dessuten uregulert. Uregulert nedbørfelt nedstrøms Elvågadammen utgjør 21,1 km² av de 38,6 km² ved utløpet av Langvann, dvs. ca 55 % av Ellingsrudbekkens nedbørfelt. Flomstørrelsene i Ellingsrudbekken er derfor bestemt av en kombinasjon av de naturlige flomvannføringene og reguleringens innvirkning på flomforholdene. Det er særlig vårflommene som blir redusert på grunn av magasinerings i Elvågamasinet. Regnflommer om høsten blir ikke redusert i like stor grad.

Utgangspunktet for flomberegningen er som tidligere nevnt noen få år med observerte vannføringsdata ved stasjonen 2.340 Langvann (ved utløpet av Langvann) sammen med tidsserier for vannføring i nærliggende vassdrag.

For bestemmelse av flomstørrelser i Sagelvavassdraget med gjentaksintervall opp til 500 år er det utført frekvensanalyser på beregnede flomdata ved utløpet av Langvann. I tillegg er regionale flomfrekvenskurver (Sælthun, 1997) og frekvensanalyser fra nærliggende vassdrag vurdert.

I vassdrag med hyppighet av både høst- og vårflommer er det vanlig å utføre separate analyser av vår- og høstflommene, og ekstrapolere hver for seg (Sælthun, 1997). I flomberegninger i flomsonekartsammenheng utføres frekvensanalysene på årsflommer (NVE, 2000), dvs. at frekvensanalysen er basert på de største observerte døgnmiddelvannføringene hvert år, til tross for at det forekommer både vår- og høstflommer i vassdraget. Bakgrunnen for dette er at en flomepisode, enten den inntreffer vår eller høst, vanligvis har oppstått som en kombinasjon av både snøsmelting og regn, og tilhører derfor nødvendigvis ikke en av to forskjellige populasjoner. Når analysen gjøres kun mhp. årsflommer kan en risikere at det skjer en blanding av rene regnflommer og rene snøsmelteflommer i analysegrunnlaget. En risikerer også at andre store flommer i et år kan være større enn den største flommen i et annet år. For eksempel kan det skje at høstflommen ett år ikke kommer med i analysegrunnlaget, fordi denne er lavere enn vårflommen samme år, til tross for at den er større enn største flom i et annet år. Dette kan være et problem med analysene i Sagelvavassdraget og omegnen, siden store flommer kan opptre til forskjellige årstider.

For de videre analysene er det med bakgrunn i dette valgt å legge til grunn frekvensanalyser på årsflommer for dataserier i og utenfor Sagelvavassdragets nedbørfelt. Med bakgrunn i et relativt dårlig datagrunnlag i Sagelvavassdraget er det valgt å sammenligne med både frekvensanalyser fra stasjoner i flere nærliggende vassdrag, og med regionale flomfrekvenskurver. For observerte data velges i hvert tilfelle den frekvensfordelingen som vurderes best tilpasset de observerte årsflommene, med bakgrunn i de frekvensfordelingene som er tilgjengelige i programmet for ekstremveridianalyse (EKSTREM) i NVEs hydrologiske analyseverktøy. De endelige frekvensanalysene for de ulike stasjonene er sammenlignet, og antatt representativ fordelingsfunksjon for Sagelvavassdraget er valgt. Frekvensfordelingene for de ulike stasjonene er presentert i

tabell 6, med midlere flom (Q_M) i absolutte og spesifikke verdier og flommer med forskjellige gjentaksintervall (Q_T) som en faktor i forhold til midlere flom.

Den observerte dataserien ved utløpet av Langvann, 2.340 Langvann, har altfor kort måleperiode til å få utført en tilfredsstillende ekstremverdianalyse. Siden nedbørfeltet oppstrøms Langvann er sterkt regulert til vannforsyning er måleserien ved Langvann likevel viktig, da den gir et bilde på reguleringens innvirkning på avrenningen. For å få utnyttet observasjonene ved Langvann, som kun har observerte data i perioden 1998-2001, er dataserien forlenget ved å foreta regresjonsanalyse mot fem nærliggende stasjoner med måleperiode på 25 år eller mer. Regresjonsanalysen er utført med utgangspunkt i de to hele årene med felles observasjonsperiode, 1999-2000. Regresjonsanalysen er utført både på årsbasis (dag for dag) og med inndeling av året i fire sesonger, 1/1-15/3, 16/3-31/5, 1/6-31/8 og 1/9-31/12. Sesonginndelingen er foretatt med bakgrunn i gjennomsnittlig sesongvariasjon ved nærliggende målestasjoner. Regresjonsanalysen på årsbasis ga dårligere resultat ($r^2 = 0,84$) enn analysen med sesonginndeling (r^2 , se nedenfor), og benyttes derfor ikke videre. Regresjonsanalysen foregår slik at den beskrivende variabelen som best forklarer variasjonen i avrenningen ved Langvann først tas inn i ligningen, deretter den variabelen som best beskriver restvariansen osv. For hver sesong er det benyttet en regresjonsligning med de beskrivende variable (stasjoner) som gir vesentlig forbedring av ligningen (vesentlig økende forklaringsgrad). De variablene som ikke gir vesentlig bedring i ligningen tas ikke med. Ved hjelp av de resulterende regresjonsligningene, der døgnmiddelvannføringen ved 2.340 Langvann kan beregnes på bakgrunn av døgnmiddelvannføringen ved de andre stasjonene, er serien ved Langvann forlenget med regresjonsligningen for hver sesong. På denne måten foreligger en dataserie ved Langvann i perioden 1977-2002. Den forlengede dataserien ved Langvann er sammensatt av data beregnet fra følgende regresjonsligninger for de ulike sesongene:

$$1/1-15/3: \quad Q_{\text{Langvann}} = -0,23785 + Q_{\text{Høgfoss}} \cdot 0,04012 + Q_{\text{Kråkfoss}} \cdot 0,09748 \quad (r^2 = 0,91)$$

$$16/3-31/5: \quad Q_{\text{Langvann}} = -0,11523 + Q_{\text{Høgfoss}} \cdot 0,04999 + Q_{\text{Gryta}} \cdot 1,18945 \quad (r^2 = 0,95)$$

$$1/6-31/8: \quad Q_{\text{Langvann}} = -0,13661 + Q_{\text{Høgfoss}} \cdot 0,11072 + Q_{\text{Bjørnegårdsv.}} \cdot 0,02677 \quad (r^2 = 0,89)$$

$$1/9-31/12: \quad Q_{\text{Langvann}} = -0,43954 + Q_{\text{Kråkfoss}} \cdot 0,05355 + Q_{\text{Høgfoss}} \cdot 0,05791 \quad (r^2 = 0,85)$$

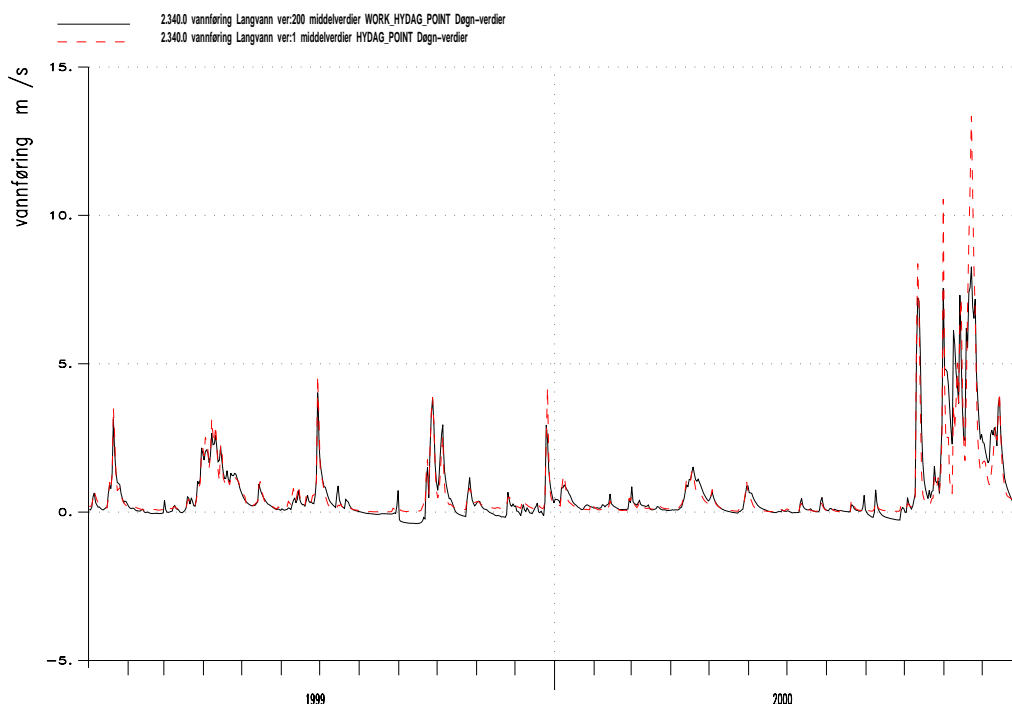
I alle ligningene inngår Høgfoss som én av de to best beskrivende variablene. En korrelasjonsanalyse på døgndata for hver sesong mellom Langvann og de andre sammenlignbare måleseriene i nærheten, viser at Høgfoss er den stasjonen som generelt er best korrelert med Langvann (tabell 5). Analysen er utført med enkel lineær korrelasjon dag for dag innenfor hver sesong. Tabellen viser at det er relativt god korrelasjon mellom Langvann og Høgfoss for alle sesongene, og at de andre stasjonene i varierende grad samsvarer med Langvann i de ulike sesongene.

I ligningen for sesongen 1/9-31/12 inngår Høgfoss som en av de to best beskrivende variablene, til tross for at Høgfoss i utgangspunktet er dårligere korrelert med Langvann enn både Gryta og Bjørnegårdsvingen. Dette skyldes at de seriene som best beskriver restvariansen i datasettet tas inn i ligningen steg for steg, og ikke nødvendigvis de seriene som viser best korrelasjon.

Tabell 5. Korrelasjon mellom 2.340 Langvann og noen andre måleserier i nærheten i de to årene 1999-2000. Uthevede koeffisienter for de stasjoner som gir vesentlig forbedring av regresjonsligningen, og som er tatt med i ligningen, er vist.

Stasjon	Korrelasjons-	Korrelasjons-	Korrelasjons-	Korrelasjons-
	koeffisient	koeffisient	koeffisient	koeffisient
	1/1-15/3	16/3-31/5	1/6-31/8	1/9-31/12
3.22 Høgfoss	0,905	0,906	0,927	0,858
2.279 Kråkfoss	0,863	0,538	0,503	0,905
6.10 Gryta	0,846	0,883	0,736	0,866
8.6 Sæternbekken	0,829	0,862	0,543	0,758
8.2 Bjørnegårdsvingen	0,413	0,739	0,821	0,872

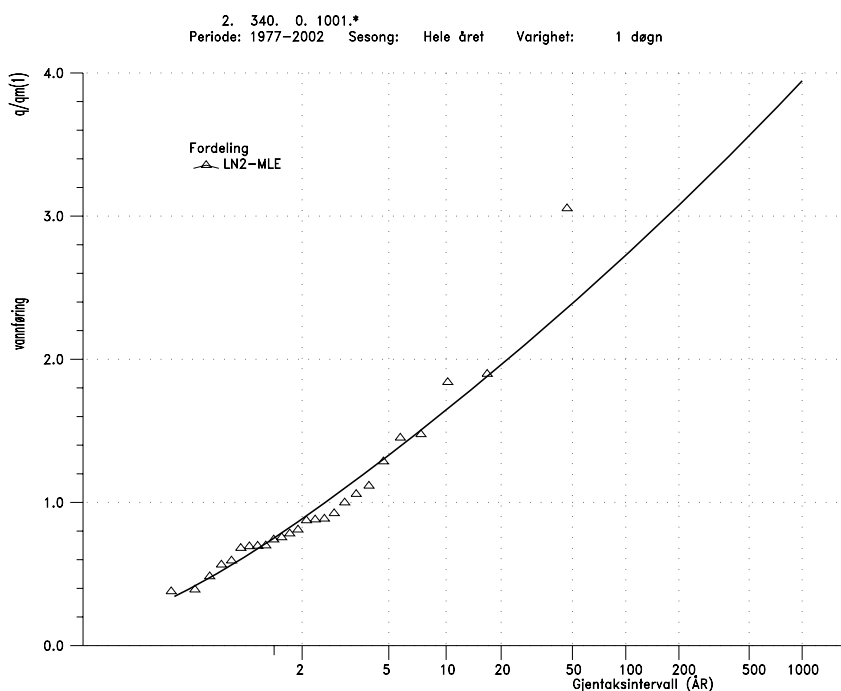
Til tross for at regresjonsanalysen kun er gjort med utgangspunkt i to år med felles måleperiode og at datakvaliteten ved målestasjonen Langvann er usikker, synes regresjonsanalysen å gi godt resultat med høy forklaringsgrad (r^2). Eksempelvis betyr en forklaringsgrad på 0,95 for vårsesongen at 95 % av variasjonen i observert døgnmiddelvanntilføring i denne sesongen beskrives ved regresjonsligningen. For høsts sesongen, som er mest flomutsatt, er forklaringsgraden noe dårligere (0,85). Selv om fellesperioden er noe kort, var det i denne perioden en relativt stor flom både i Fjellhammarelva og omkringliggende vassdrag. I alle de sammenlignbare omkringliggende vassdrag var denne flommen, høsten 2000, blant de tre største flommene som er observert de siste 25-30 åra. Til tross for et tilsynelatende godt regresjonsresultat ser det ut til at flommer blir underestimert i den utvidete serien for Langvann (kap. 4). Figur 7 viser observert og estimert døgnmiddelavrenning ved Langvann i årene 1999-2000. Figuren viser også at døgnmiddelavrenningen i perioder blir noe negativ i den estimerte serien, med vannføringer ned mot $-0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Tross tilsynelatende underestimerte flommer og små negative verdier er gjennomsnittlig vannføring i de to årene imidlertid lik for den observerte og estimerte serien, $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ i begge tilfeller.



Figur 7. Observert (stiplet linje) og estimert (heltrukken linje) døgnmiddelavrenning ved utløpet av Langvann i årene 1999-2000.

Frekvensanalysen av den forlengede dataserien ved Langvann gir en frekvensfaktor ved 500-årsflom på 3,56. Figur 8 viser den statistiske fordelingsfunksjonen som er antatt å være egnet til å beskrive de estimerte årsflommene i den forlengede dataserien ved Langvann. Frekvensfordelingen er generelt godt tilpasset opp til omkring 5-10-års gjentaksintervall. For gjentaksintervall større enn 10-20-årsflom er det større sprik i de ulike frekvensfordelingenes tilpasning til de estimerte flommene. Avhengig av type frekvensfordeling som tilpasses de estimerte årsflommene ved Langvann er det variasjon i Q_{500}/Q_M på hele $\pm 1,4$. Tross til dels betydelig usikkerhet i valgte frekvensfaktorer presenteres disse med en nøyaktighet på to desimaler, for å unngå uoverensstemmelser i flomverdier når disse presenteres for flere gjentaksintervall.

Som det fremgår av tabell 6 har den utvidete og estimerte serien ved Langvann en langt brattere frekvenskurve enn måleseriene i nærliggende vassdrag. Dette kan ha sammenheng med at nedbørfeltet til Langvann er betydelig regulert, mens de nærliggende feltene det er sammenlignet med i stor grad er uregulerte. Ved at store deler av tilsiget til Ellingsrudbekken magasineres i Nord-Elvåga vil trolig små flommer dempes betraktelig i magasinet, mens større flommer trolig dempes i mindre grad. Dette betyr at ved små flomsituasjoner er det i stor grad kun avrenning fra nedbørfeltet nedstrøms Elvågamagasinet som bidrar til flomvannføringen i Ellingsrudbekken, mens det ved større flomhendelser er større sjanser for at magasinet er fylt og går i overløp slik at også nedbørfeltet oppstrøms dammen bidrar til flomvannføringen i Ellingsrudbekken. Dermed kan forholdstallet mellom middelflom og sjeldnere flommer bli



Figur 8. Flomfrekvensanalyse Q_7/Q_M for utløpet av Langvann, døgnmiddel av årsflommer.

større enn i uregulerte vassdrag. Det er i det hele tatt vanskelig å sammenligne flomfrekvensanalyser fra et regulert vassdrag med uregulerte nedbørfelt. Det samme er tilfellet når det gjelder regionale flomfrekvenskurver, som gjelder for uregulerte vassdrag. Det understrekes at det ligger betydelig usikkerhet i frekvenskurven for utløpet av Langvann da datagrunnlaget for denne består av estimerte verdier, men det er allikevel det beste estimatet for flommer opp til ca. 20 år som finnes for det regulerte vassdraget.

For de fem nærliggende målestasjonene Høgfoss, Gryta, Bjørnegårdsvingen, Sæternbekken og Kråkfoss er det godt samsvar i forholdstallet Q_{500}/Q_M , med en variasjon fra 2,54 ved Høgfoss til 2,79 ved Sæternbekken. Det er derfor rimelig å anta at Q_{500}/Q_M for uregulerte forhold i Sagelvavassdraget også ligger innenfor dette intervallet.

For flomberegninger i vassdrag uten observerte tidsserier for vannføring er det vanlig å benytte etablerte regionale frekvenskurver som er utledet for områder som har homogene flomforhold (Sælthun, 1997 og Wingård, 1978). Disse kurvene er laget separat for høst- og vårflokker i innlandsregioner, da det er antatt at høst- og vårflokker er forårsaket av ulike hendelser, bare i kystregionen er kurvene utledet for årsflokker. Bakgrunnen for å benytte både etablerte regionale flomfrekvenskurver og analyser direkte på nærliggende stasjoner er at måleseriene er utvidet med observasjoner fra de senere år. Den aktuelle regionale kurven som er utledet for regionen som dekker Sagelvavassdraget er gitt i tabell 6. Sagelvavassdraget ligger i overgangssonen mellom innlandsklima med formler for høst- og vårflokker og kystklima med formel for årsflokker. I denne regionen er det kun det gamle formelverket fra 1978 som gir frekvenskurve basert på årsflokker, og som direkte kan sammenlignes med frekvenskurven basert på årsflokker som utgjør et gjennomsnitt fra nærliggende målestasjoner. Den regionale frekvenskurven for årsflokker gir Q_{500}/Q_M på 2,83, som ligger i overkant av snittet for nærliggende stasjoner (2,63).

Det antas at en frekvenskurve som utgjør et gjennomsnitt av frekvenskurven ved de fem nevnte målestasjonene, med Q_{500}/Q_M på 2,63 (tabell 6) er representativ for uregulerte forhold i Sagelvavassdraget.

Tabell 6. Flomfrekvensanalyser av årsflokker (døgnmiddel), Q_T/Q_M , for aktuelle målestasjoner, sammen med regional frekvenskurve for årsflokker.

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							
3.22 Høgfoss	76-03	27	301	120	36,1	1,25	1,45	1,65	1,90	2,09	2,29	2,54
6.10 Gryta	67-02	35	6,96	206	1,4	1,32	1,55	1,77	2,04	2,23	2,42	2,65
8.2 Bjørnegårdsvingen	68-02	34	190	222	42,1	1,27	1,49	1,69	1,96	2,16	2,36	2,63
8.6 Sæternbekken	71-02	28	6,33	252	1,6	1,29	1,53	1,76	2,06	2,28	2,50	2,79
2.279 Kråkfoss	66-03	37	433	148	64,3	1,25	1,46	1,66	1,92	2,11	2,30	2,55
Langvann-regresjon Sagelvavassdraget	77-02	26	38,6	113	4,4	1,33	1,65	1,96	2,39	2,73	3,08	3,56
						1,28	1,50	1,71	1,98	2,18	2,37	2,63
Regional kurve: Å1-78										2,17	2,45	2,83

6. Beregning av flomverdier

Flomsonekart skal konstrueres for en til sammen 8-9 km lang elvestrekning i Fjellhammarelva/Sagelva fra Ellingsrud bru i Ellingsrubbekken og Gamleveien bru i Losbyelva til Sagelvas utløp i Nitelva.

6.1. Middelflom

Middelflommens størrelse styres dels av feltets beliggenhet i forhold til hvor eksponert det er for nedbør, og dels feltets karakter (feltstørrelse, effektiv sjøprosent, helningsforhold etc.), og varierer fra punkt til punkt i vassdraget. Små felt, innsjøfattige felt og bratte felt gir større spesifikke flommer enn store felt, innsjørike felt og felt uten store høydegradienter.

Spesifikk middelflom beregnet for årsflommer for den forlengede dataserien ved utløpet av Langvann er 113 l/s·km² når hele det regulerte nedbørfeltet oppstrøms tas i betraktning. Dersom det antas at nedbørfeltet oppstrøms det regulerte Elvågavatnet i mindre grad bidrar til avrenningen ved middelflom, og at bare det uregulerte feltet på 21,1 km² nedstrøms bidrar til avrenningen ved middelflom, blir spesifikk middelflom ved utløpet av Langvann 207 l/s·km². Sannsynligvis ligger verdien for spesifikk middelflom for Ellingsrubbekken i uregulert tilstand et sted mellom disse verdier.

For å få et estimat på spesifikk middelflom for uregulerte forhold forskjellige steder i vassdraget er det benyttet regionale flomformler som tar utgangspunkt i feltkarakteristika (Wingård, 1978 og Sælthun, 1997). Flomformlene har ulik karakter avhengig av hvilken flomsesong som er dominerende (vårflom, høstflom eller årsflom). For denne regionen er følgende formler gjeldende:

$$\text{H1-1978: } Q_M = 5,62 \cdot Q_N^{0,896} \cdot R_K^{0,469} \cdot (A_{SE}+0,01)^{-0,188} \cdot (A/L_F)^{-0,374}$$

$$\text{Å1-1978: } Q_M = 14,4 \cdot Q_N^{1,157} \cdot (A_S+1)^{-0,717}$$

$$\text{Høst3-1997: } \ln Q_M = 1,2014 \cdot \ln Q_N - 0,0819 \cdot \ln (A/L_F) - 0,0268 \cdot A_{SE} + 0,0013 \cdot S_T + 1,07$$

Middelflom beregnet for høst- og årsflommer med gammelt formelverk (1978) gir relativt likt resultat og i rimelig overensstemmelse med middelflom for målestasjoner i nærliggende vassdrag. Middelflom for høstflommer beregnet med nytt formelverk (1997) blir langt lavere og gir verdier som virker urimelige.

Formelen for Å1-område benyttes og ga resultat som vist i tabell 7.

Tabell 7. Spesifikk middelflom for uregulerte forhold, beregnet ut fra formel for Å1-område (Wingård, 1978).

Sted	Feltareal, A, km ²	Normalavløp, Q _N , l/s·km ²	Sjøprosent, A _S , %	Middelflom, Q _M , l/s·km ²
Ellingsrudbekken ved Ellingsrud bru	26,1	20,2	5,20	126
Fjellhammarelva ved utløp Langvann	38,6	20,5	3,90	152
Losbyelva ved Gamleveien bru	50,3	20,2	4,10	145
Losbyelva ved Strømsveien bru	54,5	20,3	3,80	153
Sagelva ved utløpet i Nitelva	109,0	21,4	4,80	141

De beregnede verdiene for spesifikk middelflom stemmer relativt bra overens med tilsvarende verdier fra nærliggende målestasjoner. De er i samme størrelsesorden som spesifikk middelflom for Høgfoss og Kråkfoss som har relativt store nedbørfelt, og er noe mindre enn spesifikk middelflom i Gryta og Sæternbekken, som har små nedbørfelt, og er også noe mindre enn tilsvarende verdi for Bjørnegårdsvingen, som ligger i et nedbørrikere strøk.

En kompliserende faktor ved flomberegningen er reguleringen i Ellingsrudbekkens nedbørfelt, og hvordan denne påvirker flomforholdene. Ved denne beregningen antas at reguleringen har minimal innvirkning på flommer fra 50-årsflom og større. Da antas det at det blir overløp over Elvågadammen og feltet kan betraktes som uregulert. For mindre flommer baseres beregningen på den estimerte serien for Langvann, som er drøyt 20 år lang.

Det antas videre at flommer fra de to hovedforgreiningene i vassdraget har samme gjentaksintervall og ankommer Fjellhammarelva/Sagelva samtidig. I Losbyelvas øvre del er det også oppdemte sjøer som vil virke dempende og forsinkende på flommer. En tidligere utført flomberegning for Fjellhammardammen (Pettersson, 1997, figur 9), der flomforløp er beregnet for hver sidegren og for lokalfeltet til Fjellhammarelva og deretter rutet gjennom magasinene for å ta hensyn til flomdempning, viser at Q₁₀₀₀- avløpsflommen fra Langvann og Losbyelva (Mønevann) kulminerer innenfor et tidsintervall på seks timer. Avløpsflommen fra Langvann kulminerer rett i forkant av avløpsflommen fra Losbyelva. I foreliggende beregning er flomstørrelsene i Fjellhammarelva nedstrøms samløpet mellom de to elvene beregnet som summen av døgnmiddelvanntilføringen i de to elvene ved de ulike gjentaksintervall, altså verst tenkelige flomsituasjon med sammenfallende kulminasjonstidspunkt.

6.2. Flomverdier for ulike gjentaksintervall

I Ellingsrudbekken antas flomverdiene for den konstruerte serien ved Langvann (tabell 6) å være representative for flommer med gjentaksintervall opp til og med 20 år. Større flommer beregnes ut fra resultatet basert på formelverk for å bestemme uregulert middelflom (tabell 7) og den flomfrekvenskurve som er fremkommet som gjennomsnittet av frekvenskurver fra målestasjoner i nærliggende vassdrag (tabell 6). Det gir resultat som vist i tabell 8.

Tabell 8. Anslåtte middelflomverdier (Q_M) og frekvensfaktorer (Q_T/Q_M) samt resulterende flomverdier ved ulike gjentakintervall (Q_T) for steder i Ellingsrubekken/Fjellhammarelva, døgnmiddelvanføringer.

Punkt i vassdraget (se figur 1)	Areal km ²	Q_M		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
		l/s·km ²	m ³ /s							
Q_T/Q_M				1,33	1,65	1,96				
1. Ellingsrubekken ved Ellingsrud bru	26.1	113	2.9	3.9	4.9	5.8				
2. Ellingsrubekken ved Visperud bru	30.2	113	3.4	4.5	5.6	6.7				
3. Ellingsrubekken ved Robsrud bru	31.9	113	3.6	4.8	5.9	7.1				
4. Fjellhammarelva ved utløp Langvann	38.6	113	4.4	5.8	7.2	8.5				
Q_T/Q_M							1,98	2,18	2,37	2,63
1. Ellingsrubekken ved Ellingsrud bru	26.1	126					6.5	7.2	7.8	8.7
2. Ellingsrubekken ved Visperud bru	30.2	136					8.1	8.9	9.7	10.8
3. Ellingsrubekken ved Robsrud bru	31.9	141					8.9	9.8	10.7	11.9
4. Fjellhammarelva ved utløp Langvann	38.6	152					11.6	12.8	13.9	15.5

Midlere flom er økt fra Ellingsrubekken ved Ellingsrud bru til Fjellhammarelva ved utløpet av Langvann, der verdier er beregnet med formler i tabell 7, på en slik måte at bidraget fra lokalfeltene blir likt på hele strekningen, nemlig 208 l/s·km².

I Losbyelva beregnes flommer ut fra resultatet basert på formelverk for å bestemme uregulert middelflom (tabell 7) og den flomfrekvenskurve som er fremkommet som gjennomsnittet av frekvenskurver fra målestasjoner i nærliggende vassdrag (tabell 6). Det gir resultat som vist i tabell 9.

Tabell 9. Anslåtte middelflomverdier (Q_M) og frekvensfaktorer (Q_T/Q_M) samt resulterende flomverdier ved ulike gjentakintervall (Q_T) for steder i Losbyelva, døgnmiddelvanføringer.

Punkt i vassdraget (se figur 1)	Areal km ²	Q_M		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
		l/s·km ²	m ³ /s							
Q_T/Q_M				1,28	1,50	1,71	1,98	2,18	2,37	2,63
5. Losbyelva ved Gamleveien bru	50.3	145	7.3	9.3	10.9	12.4	14.4	15.9	17.3	19.2
6. Losbyelva ved Strømsveien bru	54.5	153	8.3	10.6	12.5	14.2	16.5	18.1	19.8	22.0

I Sagelva ved utløpet i Nitelva kan flommer i uregulerte forhold beregnes ut fra resultatet basert på formelverk for å bestemme uregulert middelflom (tabell 7) og den flomfrekvenskurve som er fremkommet som gjennomsnittet av frekvenskurver fra målestasjoner i nærliggende vassdrag (tabell 6). I Fjellhammarelva, ved samløpet mellom de to forgreiningene i vassdraget, bestemmes flomverdiene som summen av vannføringen i de to elvene, mens ved Fjellhammar bru bestemmes de slik at flomøkningen i nedre del av vassdraget blir proporsjonal med arealøkningen.

Det gir resultat som vist i tabell 10.

Tabell 10. Anslåtte, uregulerte, middelflomverdier (Q_M) og frekvensfaktorer (Q_T/Q_M) samt resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall (Q_T) for steder i Fjellhammarelva/Sagelva, døgnmiddelvannføringer.

Punkt i vassdraget (se figur 1)	Areal km ²	Q_M		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
		l/s·km ²	m ³ /s							
Q_T/Q_M				1,28	1,50	1,71	1,98	2,18	2,37	2,63
7. Fjellhammarelva nedstrøms tilløp Losbyelva	94.0	151	14.2	18.1	21.3	24.2	28.1	30.9	33.7	37.4
8. Fjellhammarelva ved Fjellhammar bru	96.6	149	14.4	18.4	21.5	24.6	28.4	31.3	34.2	37.9
9. Sagelva ved utløpet i Nitelva	109.0	141	15.4	19.6	23.0	26.2	30.4	33.4	36.5	40.5

De mindre flommene, Q_M til Q_{20} , er imidlertid påvirket av reguleringen i Elvåga, noe som gir litt mindre flomverdier enn hva som gjelder ved uregulerte forhold. For Fjellhammarelva nedstrøms samløpet med Losbyelva beregnes de som summen av flommene ved utløp Langvann i tabell 8 og i Losbyelva ved Strømsveien bru i tabell 9. Flomøkningen på strekningen fra samløpet med Losbyelva til utløpet i Nitelva er imidlertid som ved uregulerte forhold.

Det gir resultat som vist i tabell 11. Flomverdiene er like for regulerte og uregulerte flommer med gjentaksintervall 50 år og større.

Tabell 11. Anslåtte middelflomverdier (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall (Q_T) for steder i Fjellhammarelva/Sagelva, døgnmiddelvannføringer. Verdier etter regulering.

Punkt i vassdraget (se figur 1)	Areal km ²	Q_M		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
		l/s·km ²	m ³ /s							
7. Fjellhammarelva nedstrøms tilløp Losbyelva	94.0	135	12.7	16.4	19.7	22.7	28.1	30.9	33.7	37.4
8. Fjellhammarelva ved Fjellhammar bru	96.6	133	12.9	16.7	19.9	23.1	28.4	31.3	34.2	37.9
9. Sagelva ved utløpet i Nitelva	109.0	127	13.9	17.9	21.4	24.7	30.4	33.4	36.5	40.5

6.3. Kulminasjonsvannføring

De presenterte flomverdiene så langt representerer døgnmiddelverdier. Kulminasjonsvannføringen kan være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen ved store flommer. Det er utarbeidet ligninger basert på feltparametere som kan benyttes for å beregne forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring (momentanvannføring) og døgnmiddelvannføring. Formelen for vårflommer er:

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

mens formelen for høstflommer er:

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

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

Tabell 12 viser resultatene som er fremkommet ved bruk av formlene for høstflommer, som er de mest kritiske i vassdraget, for fem punkter i vassdraget.

Tabell 12. Forhold mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ut fra formler for høstflommer.

	A, km ²	A_{SE} , %	$Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{middel}}$
Ellingsrubbekken ved Robsrud bru	31.9	2.57	1.42
Fjellhammarelva ved samløp med Losbyelva	39.1	2.06	1.44
Losbyelva ved samløp med Fjellhammarelva	54.5	0.88	1.53
Fjellhammarelva etter samløp med Losbyelva	93.6	0.66	1.50
Sagelva ved utløp i Nitelva	109	0.48	1.51

Under flommen i 2000 var største døgnmiddelvannføring 13.3 m³/s ved 2.340 Langvann, mens kulminasjonsvannføringen samme dag var 14.4 m³/s, et forholdstall på 1.08. Dette er atskillig mindre enn hva formelverket gir. Det finnes ikke andre data fra store flommer i vassdraget til å vurdere forholdet mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer.

Det velges å benytte forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring som er noe mindre enn hva formelverket gir, siden den eneste observasjonen ved stor flom indikerer et lavere forholdstall. For Ellingsrubbekken/Fjellhammarelva til samløpet med Losbyelva benyttes 1.20, for Losbyelva 1.30 og for Fjellhammarelva nedstrøms samløpet med Losbyelva 1.25.

Resulterende kulminasjonsvannføringer er vist i tabell 13.

Tabell 13. Flomverdier for steder i Fjellhammarvassdraget, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget (se figur 1)	Areal km ²	Q _M m ³ /s	Q ₅ m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₂₀ m ³ /s	Q ₅₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₅₀₀ m ³ /s
1. Ellingsrubbekken ved Ellingsrud bru	26.1	4	5	6	7	8	9	9	10
2. Ellingsrubbekken ved Visperud bru	30.2	4	5	7	8	10	11	12	13
3. Ellingsrubbekken ved Robsrud bru	31.9	4	6	7	8	11	12	13	14
4. Fjellhammarelva ved utløp Langvann	38.6	5	7	9	10	14	15	17	19
5. Losbyelva ved Gamleveien bru	50.3	9	12	14	16	19	21	23	25
6. Losbyelva ved Strømsveien bru	54.5	11	14	16	18	21	24	26	29
7. Fjellhammarelva nedstrøms tilløp Losbyelva	94.0	16	21	25	28	35	39	42	47
8. Fjellhammarelva ved Fjellhammar bru	96.6	16	21	25	29	36	39	43	47
9. Sagelva ved utløpet i Nitelva	109.0	17	22	27	31	38	42	46	51

7. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i Sagelvavassdraget kan karakteriseres som rimelig godt. Det er imidlertid en 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 et antall samtidige observasjoner av vannstand og måling av vannføring i elven. Men disse direkte målinger er ikke alltid utført på ekstreme flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert samband mellom vannstander og vannføringer, dvs. også ”observerte” flomvannføringer kan derfor inneholde en grad av usikkerhet.

En faktor som fører til usikkerhet i flomdata er at NVEs hydrologiske database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er alle flomvannføringer derfor noe underestimerte, fordi største 24-timersmiddel alltid vil være mer eller mindre større enn største kalenderdøgnmiddel.

I tillegg er de eldste dataene i databasen basert på én daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesninger betraktes å representere et døgnmiddel, men kan selvfølgelig avvike i større eller mindre grad fra det virkelige døgnmidlet.

Dataene med fin tidsoppløsning er 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 ca. 10-15 år tilbake. Det er derfor ikke mulig å utføre flomfrekvensanalyser direkte på kulminasjonsvannføringer.

Midlere flom i den relativt korte måleserien ved Nedre Romerikes vannverks målestasjon nederst i Sagelva (tabell 4) er $11,7 \text{ m}^3/\text{s}$, altså noe mindre enn hva som er beregnet her, $13,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabell 11). Videre viser tabell 11 at storflommen høsten 2000, som var på $24,9 \text{ m}^3/\text{s}$, var en ca. 20-årsflom. I en tidligere vannlinjeberegning for Fjellhammarelva (Fjelstad og Traae, 1999) er storflommen høsten 1987 anslått til å ha vært i størrelsesorden $43 - 45 \text{ m}^3/\text{s}$ ved Fjellhammardammen, dvs. kanskje over en 200-årsflom (punkt 8 i tabell 13). En tidligere flomberegning for Fjellhammardammen (Pettersson, 1997) gir en dimensjonerende flom (Q_{1000}) på $47,1 \text{ m}^3/\text{s}$ som største døgnerverdi og $56,5 \text{ m}^3/\text{s}$ som kulminasjonsverdi. Ekstrapolert gir de foreliggende beregningene Q_{1000} på $50,9 \text{ m}^3/\text{s}$ som kulminasjonsvannføring ved Fjellhammar bru (Fjellhammardammen).

Denne sammenligningen med observasjoner og tidligere beregninger viser at foreliggende beregning gir noe større flomverdier ved små gjentaksintervall og noe mindre flomverdier ved store gjentaksintervall på flommer. Allikevel vurderes resultatene ved denne beregningen å stemme rimelig overens med de nevnte målingene/beregningene.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Konklusjonen for denne beregning er at datagrunnlaget er rimelig godt, og at beregningen kan klassifiseres i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

Referanser

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

Fjelstad, K., Traae, E., 1999: Vannlinjeberegninger for Fjellhammarelva. NVE-Dokument nr. 6-1999.

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

NVE, 2002: Avrenningskart for Norge 1961-1990.

Pettersson, L.-E., 1997: Flomberegning Fjellhammardammen. NVE-Rapport nr. 18-1997.

Sælthun, N. R., 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE-Rapport nr. 14-1997.

Væringstad, T., 2003: Flomberegning for Sandvikselva. NVE-Dokument nr. 8-2003.

Wingård, B., 1978: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE-Rapport nr. 2-1978.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Dokumentserien i 2005

- Nr. 1 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Eidfjordvassdraget. Flomsonekartprosjektet (20 s.)
- Nr. 2 Eirik Traae: Program for økt sikkerhet mot leirskred. Risiko for kvikkleireskred Bragernes, Drammen
Forslag til tiltak (21 s.)
- Nr. 3 Inger Sætrang: Statistikk over tariffer i regional- og distribusjonsnettet 2005 (55 s.)
- Nr. 4 Turid-Anne Drageset, Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Fjellhammarelva/Sagelva (26 s.)