



Flomsonekartprosjektet
**Flomberegning
for Nedre Glomma**

Lars-Evan Pettersson

15
2002



D
O
K
U
M
E
N
T

Flomberegning for Nedre Glomma (002.Z)

Norges vassdrags- og energidirektorat

2002

Dokument nr 15 - 2002

Flomberegning for Nedre Glomma (002.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Lars-Evan Pettersson

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 50

Forsidefoto: Glommas delta i Øyeren 10. juni 1995. (Foto: FOTONOR AS)

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for fem delprosjekter i Glomma fra samløpet med Vorma til havet. Flomvannføringer og flomvannstander med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for 4 steder i vassdraget.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Glomma.

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

Oktober 2002

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1. Beskrivelse av oppgaven	6
2. Beskrivelse av Glomma fra Vorma til havet	6
2.1 Glomma fra Vorma til Øyeren	6
2.2 Øyeren og Solbergfoss	7
2.3 Glomma fra Solbergfoss til havet	10
3. Hydrometriske stasjoner	14
4. Flomdata	19
5. Beregning av flomverdier	24
5.1 Glomma oppstrøms Øyeren	24
5.2 Øyeren	27
5.3 Glomma nedstrøms Øyeren	32
6. Usikkerhet	33
Referanser	34

Forord

Flomsonekart er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Som et ledd i utarbeidelse av slike kart må flomvannføringer og flomvannstander beregnes. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer, for eksempel det som benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med flomsonekartlegging av nedre delen av Glomma, fra samløpet med Vormå til havet. Rapporten er utarbeidet av Lars-Evan Pettersson og kvalitetskontrollert av Erik Holmqvist.

Oslo, oktober 2002


Kjell Repp
avdelingsdirektør


Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for nedre Glomma gjelder fem delprosjekter i NVEs Flomsonekart-prosjekt: fs 002_19 Årnes, fs 002_18 Sørumsand, fs 002_17 Lillestrøm-Fetsund, fs_002.22 Sarpsborg og fs 002_21 Fredrikstad. Kulminasjonsvannføringer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for Glomma oppstrøms Øyeren, som er representative for delprosjektene Årnes og Sørumsand. Kulminasjonsvannstander med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for Øyeren, dvs. delprosjekt Lillestrøm-Fetsund. Beregnede vannstander gjelder ved Mørkfoss vannmerke og må korrigeres for andre steder rundt innsjøen pga. forskjellig vannstandshelning ved store flommer. Kulminasjonsvannføringer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for avløpsflommene fra Øyeren og tilløpsflommene til Glommas langstrakte sjøsystem oppstrøms Sarpsfossen. For beregning av flomvannstander oppstrøms Sarpsfossen og flomvannføringer i Glomma nedstrøms Sarpsfossen, delprosjektene Sarpsborg og Fredrikstad, må avløpskurve konstrueres for Glommas to utløp fra sjøsystemet, Sarpsfossen og Sølvstufossen.

Foreliggende flomberegning er stort sett basert på beregnede tilløpsflommer til Øyeren. Resultatet av beregningen ble:

	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀
Glomma oppstrøms Øyeren, m ³ /s	2180	2640	3030	3310	3720	4020	4320	4710
	H _M	H ₅	H ₁₀	H ₂₀	H ₅₀	H ₁₀₀	H ₂₀₀	H ₅₀₀
Øyeren ved Mørkfoss, m	5.72	5.85	5.96	6.48	7.39	8.14	8.89	9.88
Øyeren ved Mørkfoss, moh.	102.26	102.39	102.50	103.02	103.93	104.68	105.43	106.42
	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀
Glomma ved Solbergfoss, m ³ /s	2235	2677	3046	3217	3492	3722	3957	4273
Tilløpet til sjøsystemet oppstrøms Sarpsfossen, m ³ /s	2251	2693	3062	3233	3508	3738	3973	4289

På grunn av stor økning i avløpskapasitet ved liten vannstandsstigning for vannføringer opp til 3100 m³/s ved Solbergfoss, blir flomdempningen liten i Øyeren ved relativt små flommer. Ved relativt store flommer, over 3100 m³/s eller gjentaksintervall 20 år og større, blir imidlertid flomdempningen markert.

Kulminasjonsvannføringene for Glomma oppstrøms Øyeren er utjevnet til nærmeste hele 10 m³/s og antas å være representative for hele strekningen fra Vormå til innløpet i innsjøen. Av praktiske årsaker er ikke beregnede flomverdier for strekningen nedstrøms Øyeren utjevnet på tilsvarende måte.

Kulminasjonsvannstandene i Øyeren gjelder ved Mørkfoss. Andre steder i Øyeren vil vannstanden være høyere.

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

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for fem strekninger/områder i nedre delen av Glomma, fra samløpet med Vorma til havet. Den øverste strekningen er like nedstrøms Glommas samløp med Vorma, delprosjekt fs 002_19 Årnes i NVEs Flomsonekartprosjekt. Den neste strekningen er i Glomma et stykke oppstrøms Øyeren, delprosjekt fs 002_18 Sørumsand. Neste delprosjekt er fs 002_17 Lillestrøm-Fetsund, dvs. Øyeren inklusive Glommas innløp i Øyeren ved Fetsund. De nederste strekningene/områdene er i Glomma like oppstrøms Sarpsfossen, delprosjekt fs 002_22 Sarpsborg, og i Glomma nedstrøms Sarpsfossen, delprosjekt fs 002_21 Fredrikstad. Som grunnlag for flomsonekartkonstruksjonen skal midlere flom og flommer med gjentakintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes for i utgangspunktet 8 steder i vassdraget. Tabell 1 viser stedene som det skal beregnes vannføringer eller vannstander for, med tilhørende nedbørfeltareal.

Alle feltarealer er beregnet av Seksjonen for Geoinformasjon (VG).

Tabell 1. Beregningssteder i Nedre Glomma.

Sted, delprosjektnummer	Feltareal, km ²
Glomma etter samløpet med Vorma, fs 002_19	38 330
Glomma ved Bingsfoss, fs 002_18	38 605
Glomma ved innløpet i Øyeren, fs 002_17	38 873
Øyeren, fs 002_17	
Glomma ved utløpet av Øyeren, fs 002_17	40 444
Glomma ved Sarpsfossen, fs 002_22	41 786
Glomma oppstrøms utløpet av Visterflo, fs 002_21	41 824
Glomma nedstrøms utløpet av Visterflo, fs 002_21	41 947

2. Beskrivelse av Glomma fra Vorma til havet

2.1 Glomma fra Vorma til Øyeren

Ved Nestangen løper Vorma og Glomma sammen. Vorma er utløpselven fra Mjøsa og omfatter et nedbørfelt på 17 550 km², deriblant Gudbrandsdalslågen. Glommas nedbørfelt ved samløpet med Vorma er 20 780 km². Begge elvegrenene er regulert, Vormas nedbørfelt med over 20 reguleringsmagasiner og drøyt 15 større kraftverk, og

Glommas nedbørfelt med 7 større reguleringsmagasiner og 15 større kraftverk. Fordi Vormas nedbørfelt stort sett har noe høyere beliggenhet enn Glommas, og fordi Mjøsa demper og forsinker flommene, kommer vårflommen i Vorma vanligvis noe senere enn vårflommen i Glomma.

Ved tettstedet Årnes like nedstrøms Nestangen er Glommas nivå ca. 120 moh. Vannstanden på denne strekning og vannføringen i Vorma påvirkes i perioder av hvilket vannstands nivå som holdes ved Rånåsfoss kraftverk, som ligger drøyt 15 kilometer nedstrøms Nestangen. Rånåsfoss kraftverk ble bygd i 1918-22, med utvidelse i 1983, og utnytter et fall på knapt 13 meter.

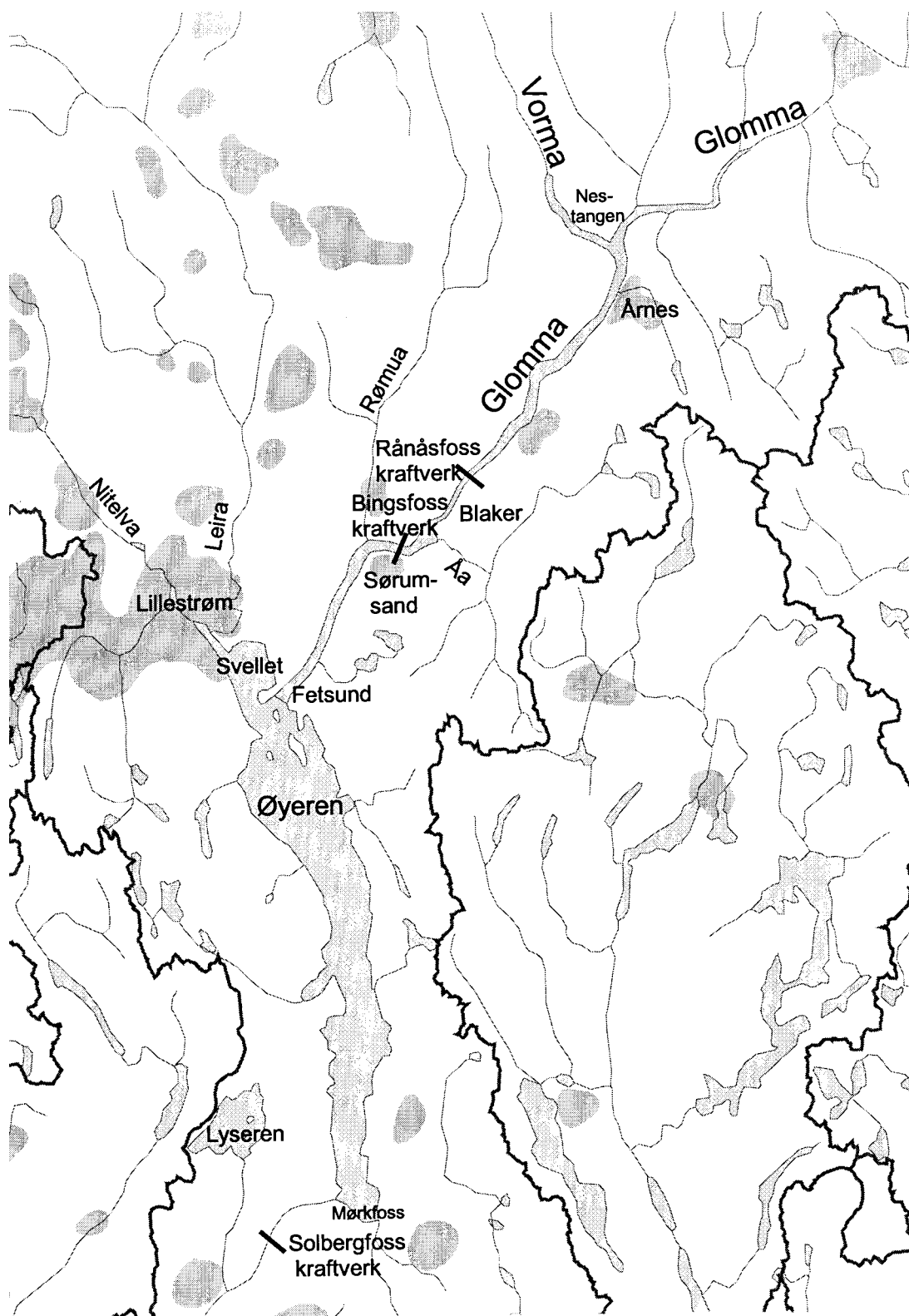
Drøyt 5 kilometer nedstrøms Rånåsfoss ligger Bingsfossen, som ble utbygd i slutten av 1970-årene. Bingsfoss kraftverk, i drift siden 1977, utnytter et fall på drøyt 5 meter. Overvannet ved Bingsfoss kraftverk er samtidig undervann ved Rånåsfoss kraftverk, noe som har ført til at fallet ved Rånåsfoss nå er noe redusert i forhold til fallhøyden ved den første utbyggingen. Bingsfoss kraftverk utnytter fallet både ved Bingsfossen og den ovenforliggende Sundsfossen, et lite fall som var i Glomma like nedstrøms tettstedet Blaker mellom Rånåsfoss og Bingsfoss. Like nedstrøms Bingsfossen ligger tettstedet Sørumsand.

Fra Sørumsand renner Glomma mot sørsørvest drøyt 10 kilometer før elven faller ut i Øyeren ved Fetsund og danner et stort delta. På strekningen fra Nestangen til Øyeren får Glomma tilløp av flere elver og bekker, hvorav to er litt større, Åa og Rømua. Åa, med et nedbørfelt på ca. 130 km², kommer fra øst og renner ut i Glomma like oppstrøms Bingsfossen. Rømua, med et nedbørfelt på drøyt 200 km², kommer fra nord og renner ut på Glommas vestre bredd et par kilometer nedstrøms Bingsfossen.

2.2 Øyeren og Solbergfoss

Øyeren er Norges niende største innsjø, med et areal på ca. 90 km² og med største dyp ca. 70 meter. Innsjøen strekker seg ca. 3 mil sørover fra Glommas innløp ved Fetsund. Den nordre delen av Øyeren, nord for Glommas innløp, består av en stor bukt, Svullet, hvor sideelvene Nitelva og Leira renner inn i innsjøen fra nord. Nitelva har et nedbørfelt på drøyt 500 km², renner gjennom Hakadal/Nittedal og drenerer deler av Oslos Nordmarka og Østmarka og de vestlige delene av Romerikåsene. Leira har et nedbørfelt på ca. 660 km² og drenerer de østlige delene av Romerikåsene og deler av Romerikes flatbygder. De øvrige tilløpene til Øyeren har små nedbørfelt.

Øyerens utløp er ved Mørkfoss i den sørvestlige delen av innsjøen, hvor Glomma renner mot vest og etter hvert mot sørvest til dammen ved Solbergfoss kraftverk, som nå regulerer Øyerens vannstand. Opprinnelig var det flere mindre fall på den 5 kilometer lange strekningen nedenfor Øyerens utløp. Øverst lå Mørkfoss, deretter Vittenbergfoss, Skråperudfoss, Halfredfoss og Solbergfoss. Allerede på slutten av 1700-tallet hadde man vært inne på tanken å regulere Øyeren. Det var dels oversvømmelser av jordbruksområder og veier ved flom, dels ulemper for



Figur 1. Kart over Glommavassdraget fra samløpet med Vorma til Solbergfoss.

tømmerfløting og båttrafikk ved lav vannstand, som fremkallet ønsket om å regulere vannstanden. Det var imidlertid først i 1854 som man begynte å planlegge en regulering. Vannstands- og vannføringsmålinger og kartlegging av Øyerens bredder ble iverksatt. En beregning av Øyerens avløp og omfanget av de arbeider som var nødvendige for å begrense skadene og ulempene rundt Øyeren, ble fremlagt i 1856. Resultatet av beregningen var at Øyerens utløp måtte senkes ved utvidelse av bredden og dypet i fossestrekningen nedstrøms utløpet, og at det måtte bygges en dam ovenfor Mørkfoss for å sikre en passelig minimumsvannstand under sommeren og høsten. Et senkningsforslag ble utarbeidet, og finansieringen ble bevilget av Stortinget i 1857. Samme høst begynte arbeidene. I 1862 sto dammen ferdig, og i 1869 ble senkningsarbeidet ansett som fullført, selv om man ikke hadde oppnått den effekt av senkningsarbeidene som man hadde beregnet. Dammen var en fermettedam, dvs. en nåledam med nedleggbare stålbukker, oppe på en fast terskel og strekte seg over største delen av elveløpet.

Forslag til nye senkningsarbeider ble fremlagt flere ganger i årenes løp, men det var først i forbindelse med at Solbergfoss kraftverk ble bygd i perioden 1916-1924, at forholdene i utløpet ble forandret. Store volumer fjell ble sprengt ut mellom Mørkfoss og Solbergfoss for å kunne utnytte reguleringsmagasinet i Øyeren. Solbergfoss kraftverk, som utnytter et fall på drøyt 20 meter, ble planlagt for 13 aggregater, men bare 7 ble montert ved idriftsettelsen 1924-25. Etter hvert ble de resterende aggregatene montert, de siste i 1959. Et nytt kraftverk, Solbergfoss II, ble tatt i bruk ved siden av det gamle i 1985, for å øke slukeevnen og utnyttelsen av fallet.

Etter storflommene i 1966-67 satte man igang planleggingen av ytterligere flomreduerende tiltak. Dette førte til at man utstyrte omløpstunnelene, som ble utsprengt i anleggsperioden 1916-24, med regulerbare luker, og at man utvidet og utdypet elvestrekningen nedstrøms Mørkfoss ved utsprengning. Disse tiltakene er beregnet til å redusere flomvannstander i Øyeren med 2 meter, 0.4 meter ved bruk av omløpstunnelene og 1.6 meter på grunn av senkningsarbeidene. Lukene i omløpstunnelene sto klare til bruk våren 1969, mens utsprengningsarbeidene, som hadde pågått et par år, ble avsluttet i desember 1974.

Etter storflommen i 1995 har man erstattet omløpstunnelene, hvor man mente at lukesystemet var for usikkert å bruke i en flomsituasjon, med en ny luke i dammen. Den totale flomløpskapasiteten er uendret, men driftssikkerheten er forbedret. Den nye flomluken sto klar til bruk sommeren 1999.

Manøvreringsreglementet for Øyeren, som ble fastsatt ved kongelig resolusjon 29. juni 1934 og endret ved kongelig resolusjon 15. mai 1981, sier at HRV er 4.80 m på Mørkfoss vannmerke og at LRV er 2.40 m på vannmerket, dvs. regulerings høyden er 2.40 m. I Statens Kartverks høydesystem NN 1954 ligger 0-punktet på Mørkfoss vannmerke på kote 96.538 moh., dvs. HRV er 101.34 moh. og LRV 98.94 moh. Videre sier manøvreringsreglementet at vannstanden ikke må gå høyere enn HRV før vannføringen fra Øyeren overstiger 1070 m³/s. Disse bestemmelser er uforandret siden manøvreringsreglementet 1934. Endringene er knyttet til manøvreringen under flom, som nå sier at dammen skal manøvreres slik at, inntil vannstanden har nådd 5.50 m på Mørkfoss vannmerke, forholdet mellom vannstand og avløp som det var

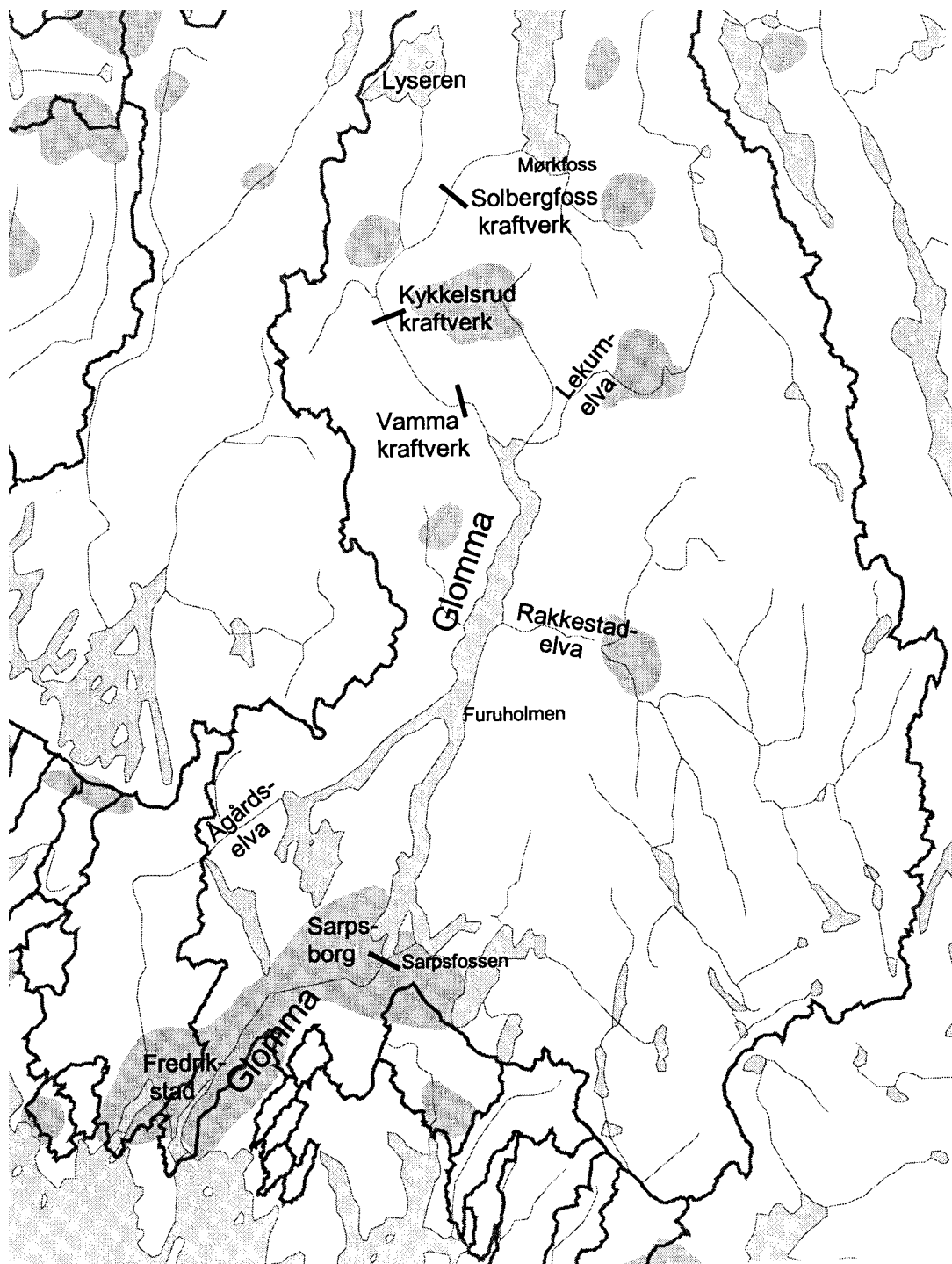
ved den gamle Mørkfoss dam så vidt mulig opprettholdes. Ved stigende vannstand over 5.50 m åpnes dammen suksessivt inntil kulminasjonen inntreffer. Det forutsettes at dammen skal være helt åpen hvis vannstanden overstiger 6.00 m.

2.3 Glomma fra Solbergfoss til havet

Fra Solbergfoss renner Glomma først mot sørvest og deretter mot sørøst i ca. 8 kilometer til Kykkelsrud kraftverk. På denne strekning kommer elven fra innsjøen Lyseren ut i Glomma fra nord. Kykkelsrud kraftverk ble anlagt i perioden 1900-1903. Kompletterende utbygginger har foregått i flere omganger. Dette gamle kraftverket utnytter et fall på nesten 18 meter. I 1963 ble et nytt kraftverk satt i drift ved Kykkelsrud i tillegg til det gamle. Det nye kraftverket utnytter et fall på drøyt 26 meter, hvilket inkluderer den ovenforliggende Fossumfoss. Nedenfor Kykkelsrud fortsetter Glomma mot sørøst 6-7 kilometer til Vamma kraftverk, som er bygd i en liten sving av elven. Vamma kraftverk ble anlagt i perioden 1911-1915, men med flere kompletterende utbygginger opp gjennom årene. Kraftverket utnytter nå et fall på nesten 29 meter, som omfatter alle de fosser og stryk som opprinnelig fantes på strekningen fra Kykkelsrud.

Et par kilometer nedstrøms Vamma utvider seg Glomma til et opp mot tre mil langt sjøsystem på et nivå omtrent 24 moh. I den nordre delen av dette sjøsystem faller Lekumelva ut i Glomma fra nordøst med et nedbørfelt på ca. 235 km². Lenger sør i Glommas utvidelse renner Rakkestadelva til fra øst med et nedbørfelt på ca. 470 km². Omtrent midt på denne utvidelsen, ved plassen Furuholmen, deler seg Glomma i det østlige hovedløpet og i et vestlig sideløp. Sjøsystemet, som er dannet av samme morenerygg som lenger nordvest danner Vannsjø i Mossevassdraget, har sitt største utløp gjennom Sarpsfossen. Like oppstrøms Sarpsfossen ligger Rødsøya, som deler Glommas hovedløp i to, der det østre løpet får tilløp gjennom viken Nipa av sideelven Isoa, som kommer fra den relativt store Isesjøen og har et nedbørfelt på ca. 170 km².

I Sarpsfossen ligger 3 kraftverk; Sarp, Hafslund og Borregaard kraftverker, som alle utnytter et fall på nesten 21 meter. Siden lang tid tilbake ble fossen utnyttet for sagbruksdrift, og i 1898-99 ble de første kraftverkene i fossen satt i drift. Den første dammen ble bygd av Borregaard i 1896 på vestsiden av fossen. I 1898-99 bygde Hafslund en dam på østsiden av fossen. De to dammene sto adskilte, men ble i 1903-04 bygd sammen. Et nytt damanlegg ble utført i perioden 1907-09. Den eksisterende dammen ble bygd i perioden 1949-54. De gamle kraftverkene, Hafslund og Borregaard, ble etter hvert ombygd, og i perioden 1974-78 ble det siste kraftverket i fossen bygd, Sarp kraftverk, som også er det største. Fra Sarpsfossen renner Glomma stort sett i sørvestlig retning til elven etter drøyt 15 kilometer faller ut i havet ved Fredrikstad. Ved Greåker, mellom Sarpsborg og Fredrikstad, får hovedelven tilløp gjennom utløpet fra Visterflo, en liten innsjø i Glommas vestlige sideløp. Ved Fredrikstad deler seg hovedelven i to løp, Østerelva som går rett ut i havet og Vesterelva som renner nord for Kråkerøy og etter hvert mot sørvest og ut i havet vest for Kråkerøy.

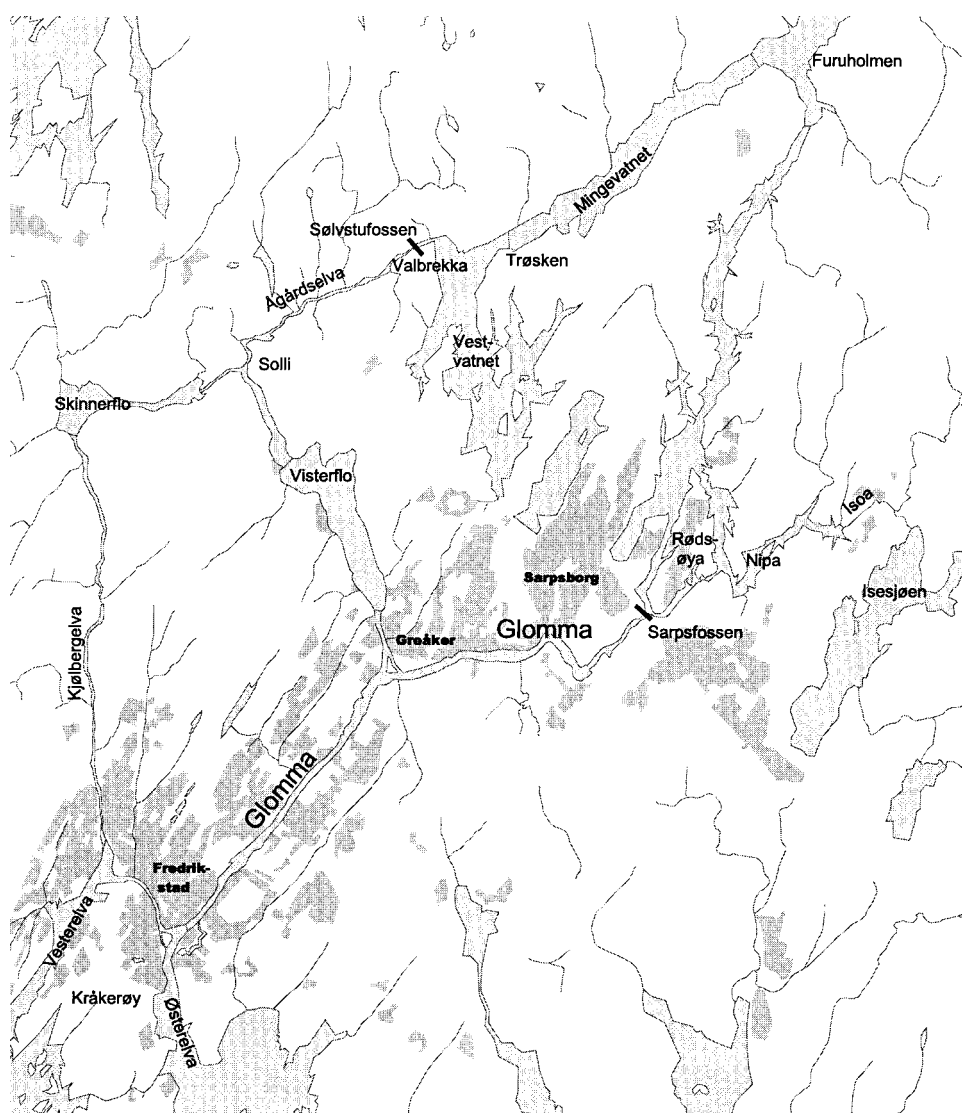


Figur 2. Kart over Glommavassdraget fra Solbergfoss til havet.

Glommas vestlige sideløp nedstrøms Furuholmen danner det smale Mingevatnet, som lenger sør utvider seg til Vestvatnet. Forbindelsen mellom disse to sjøer består av et grunt og smalt parti ved holmen Trøsken. Ved utløpet av Vestvatnet, ved Sølvstufossen i nordvestenden, ligger en liten dam. Denne dammen ble bygd i 1936 og erstattet en gammel dam som fantes på stedet, sannsynligvis siden lang tid tilbake i forbindelse med brukene nedstrøms. Fra Sølvstudammen renner Ågårdselva i sørvestlig

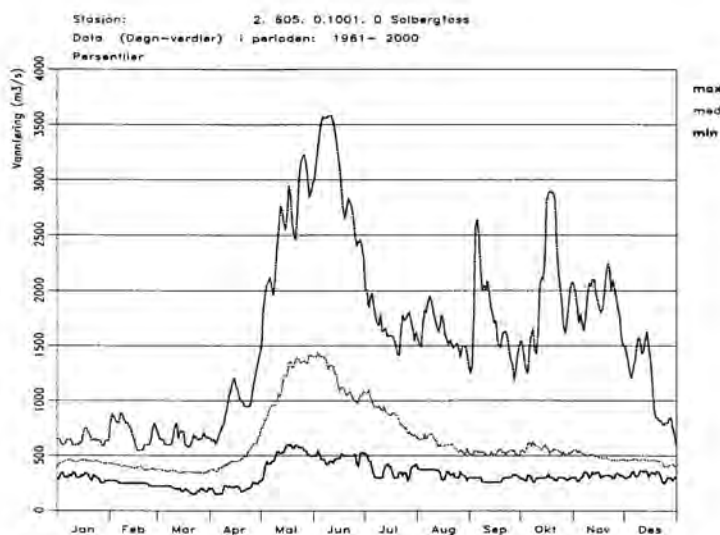
retning. I elven er noen små fosser, dels oppstrøms og nedstrøms plassen Valbrekka og dels ved det gamle Sanne og Solli Brug, som lå drøyt en kilometer oppstrøms brua der Europaveien nå passerer elven. Det var opp gjennom årene konflikter knyttet til vannføringen i Glommas vestlige sideløp. Sanne og Solli Brug, som i en periode i senere delen av 1800-tallet ble regnet som Skandinavias største sagbruk, trengte driftsvann og ønsket å utvide løpet forbi Trøsken. Dette ville imidlertid kunne redusere vannføringen i og senke vannstanden oppstrøms Sarpsfossen, noe som var uønsket av brukseierne ved Sarpsfossen. På grunn av tømmerfløtingen, ble det i 1908 tatt i bruk en kanal forbi Trøsken, hvilket førte til noe øket vannføring i Glommas vestlige sideløp. Tømmeret ble fra den tid fløtet gjennom en tunnel fra Isnesfjorden i Vestvatnet til Visterflo.

Etter at Ågårdselva har passert under Europaveien ved Solli kirke, deler den seg i et østlig og i et vestlig løp. Det østlige løpet danner innsjøen Visterflo, som har utløp til Glomma ved Greåker. Det vestlige løpet, som har et minimalt bidrag fra Glomma, går over i innsjøen Skinnerflo, som har utløp sørover gjennom Kjølbergelva (Seutelva). Ved Fredrikstad løper den sammen med Vesterelva.



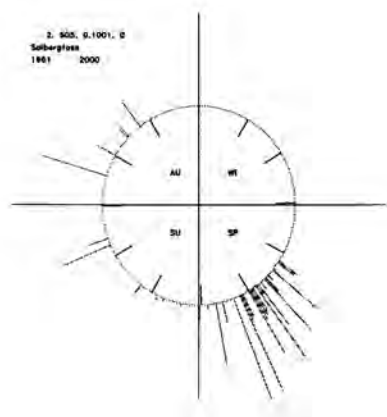
Figur 3. Kart over nederste delen av Glommavassdraget.

Middelvannføringen i nedre delen av Glomma, målt ved Solbergfoss kraftverk, er ca. $680 \text{ m}^3/\text{s}$, hvilket tilsvarer en avrenning på ca. $17 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. På grunn av reguleringene i vassdraget er vintervannføringen relativt stor. Vannføringen er størst i mai-juni når de største flommene opptrer i forbindelse med snøsmeltingen. Enkelte år kan det være relativt store flommer i forbindelse med regn om høsten. Figur 4 viser karakteristiske vannføringsverdier for hver dag i løpet av året ved Solbergfoss kraftverk. Øverste kurve (max) viser største observerte vannføring og nederste kurve (min) viser minste observerte vannføring. Den midterste kurven (med) er mediankurven, dvs. det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større og mindre enn denne.



Figur 4. Karakteristiske vannføringer i nedre delen av Glomma ved Solbergfoss kraftverk, perioden 1961-2000.

Figur 5 viser relativ størrelse og tidspunkt for flommer ved Solbergfoss over en gitt terskelverdi, i dette tilfelle ca. $1740 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 5. Flommer ved Solbergfoss kraftverk, 1961-2000. Sirkelen representerer året med starten på året (1. januar) rett opp. Flommene er markert når på året de fant sted og med relativ størrelse.

3. Hydrometriske stasjoner

I 1840-årene var det forslag om å tilrettelegge Glomma for båttrafikk mellom Øyeren og Mjøsa. Fossene måtte kanaliseres, og for å planlegge dette grundig trengte man opplysninger om vannstandsforholdene. Kanalvæsenet satte derfor igang vannstandsundersøkelser flere steder i 1846. Man hadde allerede i 1820-årene hatt vannstandsundersøkelser med dette formål i Vorma ved Minnesund og flere steder på strekningen ned til Øyeren. Disse undersøkelser ble nå gjenopptatt og i Glomma nedstrøms Vorma ble det satt igang observasjoner ved Nestangen, Rånåsfossen, Sundfossen (Blakerfossen) og Bingsfossen.

Etter hvert utvidet man stasjonsnett, og i 1855 begynte man å måle vannføringen med flygel. Det var særlig i forbindelse med Øyerens regulering, som man trengte vannføringsdata. Under den store flommen i 1860 målte man en vannføring på ca. 4000 m³/s i Glomma ved plassen Tokerud på Glommas høyre bredd like oppstrøms Blaker. Denne målingen ble ikke utført med flygel på grunn av for sterk strøm og tømmer i elven, men med flottører, dvs. man målte overflatehastigheten i et antall punkter og ut fra kjennskap til bunntopografien anslo man vannføringen.

De eldste tidsseriene for vannføring i denne del av Glommavassdraget finnes fra målestasjonen 2.18 Tokerud, med start 15. mai 1862. I 1869 begynte vannføringsregistreringene ved 2.17 Blaker, som ligger litt nedenfor Tokerud på elvens venstre bredd.

Tabell 2 gir en oversikt over de vannstandsobservasjoner som har foregått i Glomma mellom Vorma og Øyeren fra og med 1846, med kommentarer om eventuelle vannføringsdata. Det er bare målestasjoner med stasjonsnummer som har data på NVEs database. Data fra noen av øvrige stedene finnes blant annet i "Vandstandsobservationer i Glommen indtil 1894". De observasjonssteder på strekningen som nevnes fra 1820-årene var Nestangen, Grøndalen, Blaker, Fossumviken og Kudskerud. I 2000 ble målestasjonen 2.17 Blaker gjenopprettet, men foreløpig er det ikke kontrollerte data på databasen.

I og rundt Øyeren har det vært en rekke målestasjoner for vannstandsobservasjoner, hvorav 2.125 Mørkfoss er den viktigste, og den som manøvreringsreglementet er knyttet til. Tabell 3 gir en oversikt over de vannstandsobservasjoner som har foregått. Det er bare målestasjoner med stasjonsnummer som har data på NVEs database.

Tabell 2. Observasjonssteder i Glomma mellom Vorma og Øyeren.

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn/Sted	Obs.periode	Merknad
	Nestangen	1846-1875	
2.123	Årnes	1869-1933	Vannføringsdata 1907-1921
2.391	Årnes	1975-1991	
2.106	Haga	1914-1924	
	Rånåsfoss ovf. Rånås	1846-1850	Ingen data i 1848
	Rånåsfoss v. Simarud	1849-1850	
	Rånåsfoss ovf. Neslerud	1846-1850	Ingen data i 1848
	Rånåsfoss ndf. Neslerud	1846-1850	Ingen data i 1848
	Rånåsfoss v. Fosserud	1846-1850	Ingen data i 1848
2.429	Rånåsfoss kraftstasjon	1970-dags dato	Kun vannføringsdata
2.18	Tokerud	1862-1874	Vannføring 1862-1874
	Blaker	1862-1868	
2.17	Blaker	1869-1908 1971-1984	Vannføring 1869-1908 og 1971-1984
2.124	Blaker	1923-1946	Vannføring 1923-1946
	Blakerfoss ovf.	1846-1850	Ingen data i 1848
	Blakerfoss ndf.	1846-1850	Ingen data i 1848
	Bingsfossen ovf.	1846-1847	
	Bingsfossen ndf.	1846-1847	
	Bingsfossen	1849-1860	Ingen data i 1851 og 1854-1859
2.394	Bingsfoss	1985	
2.453	Bingsfoss kraftstasjon	1980-1993	Kun vannføringsdata
2.19	Bjørneskallen	1860-1869	Også data i 1849-1857 og 1870

Tabell 3. Observasjonssteder i og rundt Øyeren.

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn/Sted	Obs.periode	Merknad
2.392	Fetsund	1980-1985	Ingen data i 1983
2.587	Fetsund Bru	1995-dags dato	Ingen data i 1996. Data også i 1988.
2.26	Lillestrøm	1856-1877	Ingen data i 1857, 1864 og 1868
2.330	Aamodt	1969-1974	
2.600	Borgen	1991-1993	Ukontrollerte data fra Leira
2.23	Rellingsund	1863-1869	
2.712	Nordhagan	1994-dags dato	
	Aarnes i Øyeren	1850-1853	
2.139	Øyeren	1999-2001	
2.349	Øyeren 2	1998-dags dato	
2.125	Mørkfoss	1881-dags dato	
2.477	Mørkfoss ndf.	1988	

Ved Lillestrøm finnes også observasjoner i 1848-1852, 1855, 1857, 1864, 1868, 1878 og 1893, dog ikke på databasen. Ved Rellingsund finnes også observasjoner i 1846-

1856 og 1862, dog ikke på databasen. Ved Mørkfoss finnes også observasjoner i 1846-1880, dog ikke på databasen.

Fra Solbergfoss og ned til havet har det vært en rekke målestasjoner for vannstands- og vannføringsobservasjoner.

Allerede fra 1851 finnes vannføringsobservasjoner ved Sarpsfossen, ved målestasjonen 2.31. I ”Vandstandsobservationer i Glommen indtil 1894” presenteres en vannføringskurve for Sarpsfossen, som imidlertid ikke er identisk med den kurve som benyttes for de vannføringsdata som nå ligger på databasen. Den gjeldende vannføringskurven gir noe mindre vann ved vannføringer under ca. 800 m³/s, mens den gir 5-6 % mer vann ved vannføringer over ca. 1300 m³/s. Den gamle kurven viser vannføringen både i Sarpsfossen og den totale vannføringen i vassdraget, dvs. inkludert vannføringen i Ågårdselva. I følge denne kurven, som gjelder for perioden før Sarpsfossen ble regulert i slutten av 1800-tallet, begynte avløpet i Ågårdselva da vannføringen i Glomma oversteg ca. 700 m³/s. Den prosentuelle delen av totalvannføringen som gikk i Ågårdselva øket med økende vannføring, og var ca. 15 % da totalvannføringen var rundt 2000 m³/s.

Målestasjonen i Sarpsfossen ble nedlagt i 1906, men da var vannføringsobservasjoner allerede startet ved 2.126 Langnes, som lå straks nedstrøms Solbergfoss. Målestasjonen ved Langnes var i drift til 1964 da 2.605 Solbergfoss overtok som nederste målestasjon for vannføring i Glomma. Data ved Solbergfoss beregnes ut fra kraftverksproduksjon og tapping i luker m.m. I en kort periode var det også vannføringsobservasjoner ved 2.207 Fossumfoss mellom Langnes og Kykkelsrud.

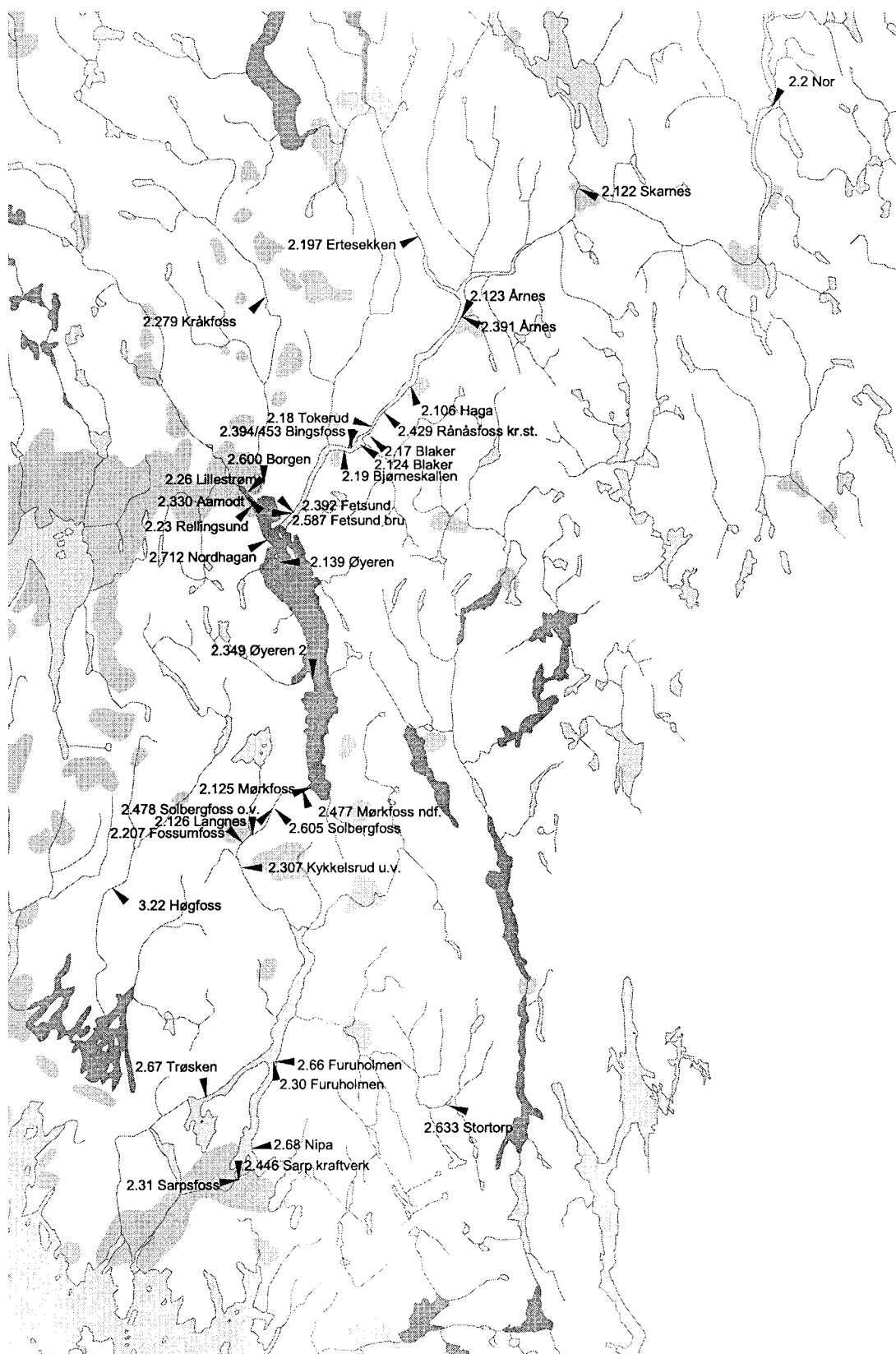
I sjøsystemet oppstrøms Sarpsfossen ble det observert vannstander ved Furuholmen, der hovedløpet og sideløpet mot Ågårdselva deler seg, fra 1846 og i ca. 30 år. I en periode etter 1996 er det observert vannstander flere steder i dette sjøsystem, ved Furuholmen, Trøsken og Nipa. Tabell 4 gir en oversikt over de vannstandsobservasjoner som har foregått i Glomma nedstrøms Øyeren, med kommentarer om eventuelle vannføringsdata. Det er bare målestasjoner med stasjonsnummer som har data på NVEs database. Data fra noen av øvrige stedene finnes blant annet i ”Vandstandsobservationer i Glommen indtil 1894”.

Tabell 4. Observasjonssteder i Glomma nedstrøms Øyeren.

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn/Sted	Obs.periode	Merknad
	Vittenbergfoss	1854-1857	
2.478	Solbergfoss overvann	1988	
2.605	Solbergfoss	1964-dags dato	Kun vannføringsdata
2.126	Langnes	1901-1964	Vannføring 1901-1964
2.207	Fossumfoss	1935-1947	Vannføring 1935-1947
2.307	Kykkelsrud undervann	1970-1983	
2.30	Furuholmen	1851-1877	Ingen data i 1854-56 og 1858-62
2.66	Furuholmen	1996-2001	
2.67	Trøsken	1996-2001	
2.68	Nipa	1996-2001	
2.31	Sarpsfoss	1851-1905	Vannføring 1851-1905. Ingen data i 1856.
2.446	Sarp kraftverk	1996-dags dato	Overløp
	Lunnevigsbugten ndf. Sarpsborg	1852	
	Roligheden og Sannesund	1864-1866	
	Fredrikstad	1864	

Ved Furuholmen finnes også observasjoner i 1846-1848, 1856, 1862 og 1878, dog ikke på databasen. Ved Sarpsfoss finnes også observasjoner i en kort periode i 1856, dog ikke på databasen. Det har vistnok også blitt foretatt en del vannstandsobservasjoner knyttet til forholdene i Mingevatnet, Trøsken og Ågårdselva av brukseierne ved Sarpsfossen.

Målestasjonenes beliggenhet er vist i figur 6.



Figur 6. Målestasjoner i nedre delen av Glomma.

4. Flomdata

Det er sammenstilt flomdata, årets største flom, for Glomma oppstrøms Øyeren, for Øyeren og for Glomma nedstrøms Øyeren, basert på de målestasjoner som har vært i drift.

For Glomma mellom samløpet med Vorma og utløpet i Øyeren finnes data siden 1846. Tabell 5 viser hvilke målestasjoner som har gitt grunnlag til oversikten over flommer på denne strekningen.

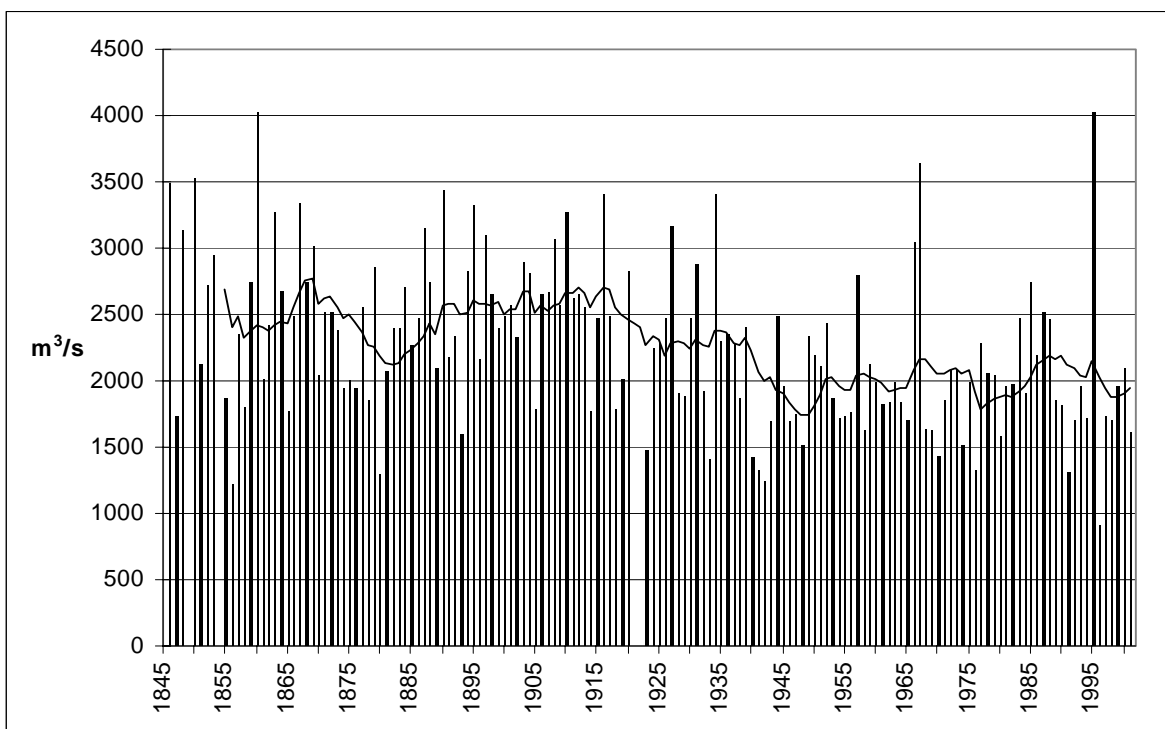
Tabell 5. Målestasjoner for flomdata i Glomma mellom samløpet med Vorma og utløpet i Øyeren.

Periode	Målestasjon/-er
1846-1861	Nestangen
1862-1868	2.18 Tokerud
1869-1908	2.17 Blaker
1909-1920	2.123 Årnes
1921-1922	Data mangler
1923-1946	2.124 Blaker
1947-1949	2.197 Ertesekken ndf. + 2.122 Skarnes
1950-1971	2.197 Ertesekken ndf. + 2.2 Nor
1972-1977	2.17 Blaker
1978-2001	2.197 Ertesekken ndf. + 2.122 Skarnes

I perioden 1846-1875 finnes vannstandsdata fra Nestangen. Basert på de observerte flomvannstandene i 1846-1861 og sammenhørende vannstander ved Nestangen og vannføringer ved Tokerud i 1862-1874, er flomvannføringer anslått for perioden 1846-1861, unntatt 1849 og 1854, da årets høyeste vannstand ikke ble observert. Flomdata for denne perioden er usikre, men størrelsesorden kan antas å være riktig.

I de øvrige periodene som det ikke har vært noen målestasjon på strekningen, er flomdata beregnet som summen av daglige vannføringer ved 2.197 Ertesekken ndf., som ligger like nedstrøms Svanfossen i Vorma, og stasjoner i Glomma oppstrøms Vorma. 2.122 Skarnes ligger i Glomma en kort strekning oppstrøms Vorma, mens 2.2 Nor lå i Glomma litt oppstrøms Kongsvinger. Summasjonen av vannføringer antas å gi et godt estimat på totalvannføringen etter samløpet. Det gjelder også ved bruk av data fra Nor når det gjelder flommer, selv om usikkerheten i flomvannføringene er større i de periodene. På strekningen fra Nor til Vorma får Glomma selvfølgelig et tilløp, men samtidig går noe flomvann tapt i tillegg til at flommen forsinkes og utjevnes noe. Ved store flommer strømmer vann inn i Vingersjøen ved Kongsvinger og over i Vrangselva. Ved alle flommer strømmer vann inn i Storsjøen i Odalen gjennom Oppstadåa. Flomkulminasjonen i Glomma ved Nor opptrer vanligvis samtidig og har en vannføring på omtrent samme størrelse som ved Skarnes.

Figur 7 viser største døgnmiddelvannføring hvert år i perioden 1846-2001, med et glidende 10-årsmiddel. I tillegg til årene 1849 og 1854 mangler vannføringsdata i denne delen av vassdraget i 1921-1922. Tabell 6 viser de åtte største flommene.



Figur 7. Flomvannføringer i Glomma mellom samløpet med Vormo og utløpet i Øyeren, 1846-2001.

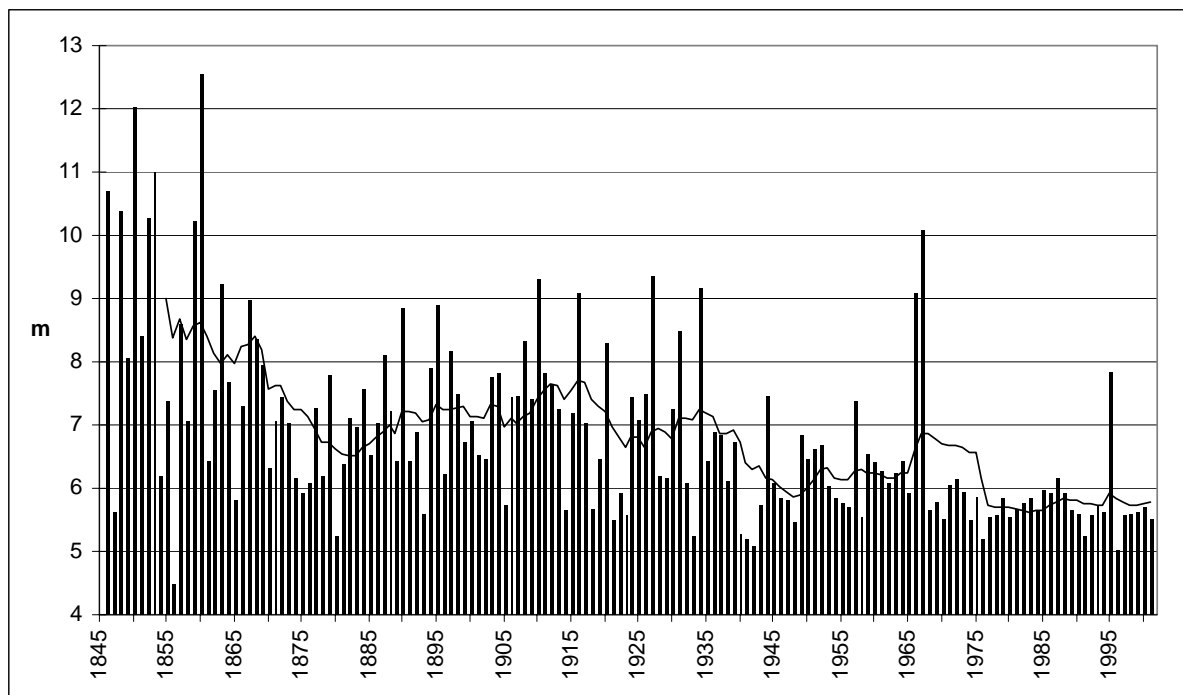
De fleste flommer har funnet sted i mai-juni, med tidligste kulminasjonsdato 1. mai, i 1959 på 2116 m³/s. Det er imidlertid også mange tilfeller med flommer over 2000 m³/s på sensommeren og høsten. Den største observerte høstflommen er sannsynligvis den i 1860. Etter den ekstreme vårfloppen på ca. 4000 m³/s, kom det også en stor flom i slutten av august, som kulminerte 27. august med en vannføring på 2900-3000 m³/s. Andre store høstflommer var i 1957, da flommen kulminerte 16. september på 2799 m³/s, og i 1987, da flommen kulminerte så sent som 19. oktober på 2441 m³/s. Disse flomverdiene er imidlertid beregnet ut fra data fra Ertesekken og Nor/Skarnes og derfor noe usikre.

Tabell 6. De største flomvannføringene i Glomma mellom samløpet med Vormo og utløpet i Øyeren, 1846-2001.

Dato	Flomvannføring, døgnmiddel i m ³ /s
04.06.1995	4031
22.06.1860	4030
03.06.1967	3641
29.05.1850	3530
26.05.1846	3490
18.05.1890	3434
12.05.1934	3401
13.05.1916	3399

For Øyeren er alle flomvannstandene hentet fra målestasjonen 2.125 Mørkfoss. Data i perioden 1852-1880, som ikke foreligger på databasen, er hentet fra "Vandstands-observationer i Glommen indtil 1894" og er omregnet fra fot til meter med faktoren 0.31374. De eldste flomvannstandene, 1846-1851, er hentet fra de vannstandsplott som finnes ved NVE. Vannstandene på den lokale skalaen kan omregnes til kotehøyder, Statens Kartverk NN 1954, ved addisjon med 96.538 moh.

Figur 8 viser høyeste vannstand hvert år i perioden 1846-2001, med et glidende 10-årsmiddel. Tabell 7 viser de høyeste flomvannstandene før og etter at de første senkningsarbeidene ved Øyeren utløp ble ansett som fullført i 1869.



Figur 8. Flomvannstander i Øyeren ved Mørkfoss, 1846-2001.

De fleste flommer har funnet sted i mai-juni, med tidligste kulminasjonsdato 5. mai, i 1968 på 5.65 m. Det er imidlertid mange tilfeller da årets høyeste flomvannstand har vært på sensommeren og høsten. Seneste kulminasjonsdato var i det tørre året 1996, 19. november. Spesielt høye høstflommer var det i Øyeren i 1860, 1912 og 1957. Flomåret 1860 var meget spesielt med både en ekstrem vårflom 24. juni på vannstand 12.55 m og en meget stor høstflom 1. september på 9.69 m. I 1912 kulminerte vannstanden på 7.63 m 27. august og i 1957 på 7.37 m 19. september. Etter de siste senkningsarbeidene på 1970-tallet, er de høyeste observerte flomvannstandene 7.85 m 8. juni 1995 og 6.16 m 19. oktober 1987. Flomvannstanden under Storofsen i juli 1789 er anslått til 15.0 m på Mørkfoss vannmerke.

Tabell 7. De høyeste flomvannstandene i Øyeren ved Mørkfoss, 1846-2001.

1846-1869

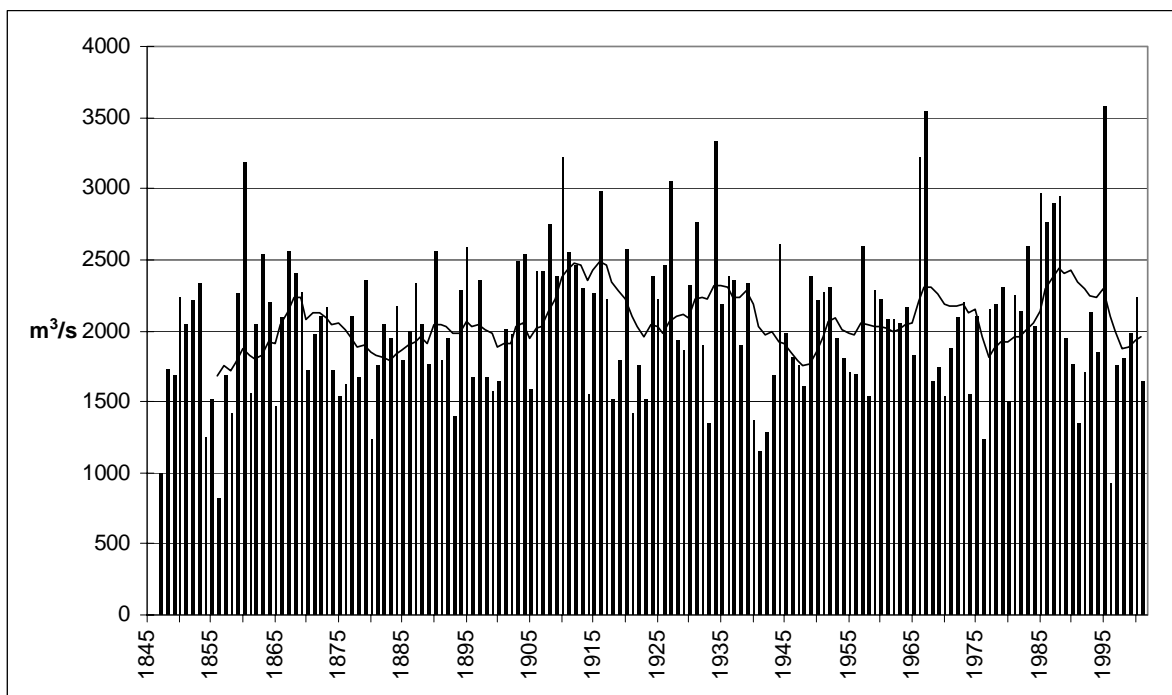
Dato	Flomvannstand, i m og moh.	
24.06.1860	12.55	109.09
02.06.1850	12.02	108.56
06.06.1853	11.01	107.55
29.05.1846	10.70	107.24
27.05.1848	10.38	106.92

1870-2001

Dato	Flomvannstand, i m og moh.	
06.06.1967	10.07	106.61
07.07.1927	9.36	105.90
27.05.1910	9.29	105.83
14.05.1934	9.17	105.71
16.05.1916	9.08	105.62
26.05.1966	9.08	105.62

For Glomma nedstrøms Øyeren er flomvannføringene hentet fra målestasjonene 2.31 Sarpsfoss i perioden 1851-1900, 2.126 Langnes i perioden 1901-1964 og 2.605 Solbergfoss i perioden 1965-2001. Flomvannstander ved Sarpsfoss for årene 1847-1850 og 1856 er beregnet ut fra observerte flomvannstander ved Furuholmen og Mørkfoss, og en regresjonsligning som er utledet mellom vannstander ved Sarpsfoss og Furuholmen/Mørkfoss ved felles observasjonsperioder. Flomvannstandene er omregnet til flomvannføringer ut fra vannføringskurven for Sarpsfoss. Flomvannføringene i disse årene er derfor noe usikre. Data fra målestasjonen 2.31, dvs. for perioden 1847-1900, gir bare flomvannføringene i Sarpsfossen, dvs. vannføringene i Glommas vestlige løp er ikke medregnet.

Figur 9 viser største døgnmiddelvannføring hvert år i perioden 1847-2001, med et glidende 10-årsmiddel. Tabell 8 viser de syv største flommene.



Figur 9. Flomvannføringer i Glomma nedstrøms Øyeren, 1847-2001.

De fleste flommer har funnet sted i mai-juni, med tidligste kulminasjonsdato 5. mai, både i 1968 og 1998. Det er imidlertid også her mange tilfeller med flommer over 2000 m³/s på sensommeren og høsten. Den største observerte høstflommen var i 1987 og kulminerte 18. oktober på 2894 m³/s. Den seneste kulminasjonsdatoen er 22. november, i 2000, med en flom på 2238 m³/s. Høstflommen i 1860 kulminerte på 2372 m³/s 2. september.

Tabell 8. De største flomvannføringene i Glomma nedstrøms Øyeren, 1847-2001.

Dato	Flomvannføring, døgnmiddel i m ³ /s
10.06.1995	3580
06.06.1967	3542
14.05.1934	3325
26.05.1966	3224
28.05.1910	3213
24.06.1860	3188
07.07.1927	3051

Figur 7 viser at flommene i Glomma på strekningen mellom samløpet med Vorma og utløpet i Øyeren er blitt redusert opp gjennom årene. Reguleringene i vassdraget, som har kommet til gradvis, har ført til at gjennomsnittelig flom i 10-årsperioder har minket fra drøyt 2500 m³/s i de første 10-20 årene på 1900-tallet til ca. 2000 m³/s i 1990-årene. Fra slutten av 1930-årene er det imidlertid ingen klar tendens i flomverdiene. To av de tre største flommene i hele den drøyt 150 år lange observasjonsserien

har funnet sted i senere tid, i 1995 og 1967. Det har vært perioder med stort sett relativt små flommer, 1940-48 unntatt 1944, 1968-76 og fra 1989 unntatt 1995.

Data fra Øyeren, figur 8, viser en tydelig reduksjon av flomvannstandene opp gjennom årene. Senkningsarbeidene i 1860-årene førte til en markert reduksjon av de høye flomvannstander som man opplevde i første halvpart av 1800-tallet. Reguleringene i øvre delene av Glomma og Gudbrandsdalslågen førte deretter til ytterligere reduserte flomvannstander, særlig merkbart fra slutten av 1930-årene. Til slutt førte senkningsarbeidene i begynnelsen av 1970-årene til enda en reduksjon av flomvannstandene. Lave flomvannstander allerede fra 1968 og noen år fremover skyldes små flommer de årene.

Flommene i Glomma nedstrøms Øyeren, figur 9, er stort sett uforandret på et langtidsgjennomsnitt på drøyt 2000 m³/s. Selv om reguleringene i øvre delene av Glomma og Gudbrandsdalslågen har ført til en reduksjon av flommene ned til Øyeren, har Øyeren regulering ført til mindre flomdempning der og derved større flomvannføring nedstrøms. Flommene i 1995 og 1967 er her de største i hele observasjonsperioden. Flommene på 1800-tallet er imidlertid underestimert med opp mot 10 %, mest på de største flommene, på grunn av at flomdataene er fra Sarpsfoss eksklusive vannføringen i Ågårdselva. Det betyr at 1860-flommen sannsynligvis var i samme størrelsesorden som flommene i 1995 og 1967 i den nederste delen av Glomma.

5. Beregning av flomverdier

5.1 Glomma oppstrøms Øyeren

Det er utført flomfrekvensanalyser på årsflommer for to observasjonsserier. Den ene serien, som representerer flomvannføringene i Glomma oppstrøms Øyeren, er basert på data fra målestasjonene i tabell 5 og er vist i figur 7. Den andre serien er en tilløpsserie til Øyeren, som er beregnet ut fra avløpsdata fra Solbergfoss korrigert for magasinendringene i Øyeren målt ved Mørkfoss. Forskjellen i data skal i prinsippet bare utgjøres av flombidraget fra lokalfeltet til Øyeren, som er på drøyt 2000 km² eller ca. 5 % av totalfeltet. Serien for Glomma oppstrøms Øyeren er fremkommet på flere måter, blant annet ved summasjon av vannføringer i Glomma og Vorma oppstrøms samløpet. Dataene representerer heller ikke vannføringene ved samme punkt i hele perioden, det er en liten variasjon i nedbørfeltets areal mellom observasjonsseriens forskjellige perioder. Det antas derfor at det er større usikkerhet knyttet til disse dataene, enn til data for tilløpet til Øyeren, selv om det er en beregnet serie, som også er beheftet med en del usikkerhet.

Flomfrekvensanalysene er utført for forskjellige perioder og resultatene er sammenfattet i tabell 9.

Tabell 9. Flomfrekvensanalyser for Glomma oppstrøms Øyeren og tilløpet til Øyeren, døgnmiddel av årsflommer.

	Areal km ²	Periode	Antall år	Q _M l/s•km ²	Q _M m ³ /s	Q ₅ m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₂₀ m ³ /s	Q ₅₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₅₀₀ m ³ /s
Glomma ovf. Øyeren	38330	1860-2001	139	58.5	2244	2701	3028	3327	3700	3971	4237	4582
- " -	38330	1903-2001	97	55.6	2130	2549	2882	3197	3601	3900	4195	4580
- " -	38330	1935-2001	67	51.7	1983	2329	2636	2937	3338	3647	3964	4397
- " -	38330	1962-2001	40	52.3	2003	2399	2728	3047	3467	3790	4120	4570
- " -	38330	1862-1934	71	64.3	2465	2888	3150	3378	3647	3833	4009	4229
Tilløp Øyeren	40472	1903-2001	99	56.3	2280	2739	3090	3419	3838	4149	4456	4858
- " -	40472	1935-2001	67	54.3	2199	2618	2959	3286	3710	4027	4343	4760
- " -	40472	1962-2001	40	55.6	2250	2729	3122	3498	3986	4354	4725	5224
- " -	40472	1903-1934	32	60.5	2449	2947	3266	3544	3876	4107	4327	4602

Figur 7 viser at det er en reduksjon i flommene fra midten av 1930-årene, noe som delvis skyldes reguleringene i vassdraget. Den siste større reguleringen i vassdraget kom i 1961 da det ble gitt tillatelse til å øke Mjøsas magasinvolum ved at høyeste regulerte vanstand ble forhøyet med 0.75 meter. På grunn av disse forhold er periodene, som det er utført flomfrekvensanalyser for, valgt.

Flomfrekvensanalysene viser at midlere flom, Q_M, er størst i den relativt lite regulerte perioden frem til midten av 1930-årene. På grunn av at to av de største flommene har funnet sted etter 1961, i 1967 og 1995, er midlere flom relativt stor også for perioden 1962-2001. Ikke minst resulterer flomfrekvensanalysen for denne perioden at flommer med store gjentaksintervall blir beregnet som meget store. Dette skyldes akkurat de to store flommene i 1967 og 1995 og at dataserien er relativt kort og inneholder mange relativt små flommer, frekvenskurven vokser raskt med økende gjentaksintervall.

Midlere flom og flommer med små gjentaksintervall, t.o.m. 10 år, antas representeres best av dataene for perioden etter 1961. Flommer med store gjentaksintervall, når effekten av reguleringene vil være redusert, antas representeres best av dataene for hele observasjonsperioden, dvs. perioden 1903-2001 når det gjelder tilløpet til Øyeren.

Bidraget fra Øyerens lokalfelt ved noen store flommer er beregnet ut fra data fra målestasjonen 2.279 Kråkfoss, som ligger i Leira, en av tilløpselvene til Øyeren. Data fra Kråkfoss antas å være representative for hele lokalfeltet og skaleres med 2142/433 = 4.95, hvor 2142 er lokalfeltets areal og 433 er Kråkfossfeltets areal. Det døgnnet som tilløpet til Øyeren har kulminert, har vannføringen i lokalfeltet vært ca. 2 til 11 % av det totale tilløpet, beregnet ut fra vannføringsregistreringene i Kråkfoss i kulminasjonsdøgnnet. Tabell 10 viser resultatet av disse beregninger.

Tabell 10. Lokalfeltets bidrag ved flom til Øyeren.

Dato	Tilløp Øyeren	Vannføring Kråkfoss	Beregnet vannføring i lokalfeltet	Lokalfeltets bidrag til tilløpet til Øyeren
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	%
24.05.1966	3707	82.4	407.6	11.0
05.06.1967	4024	24.1	119.2	3.0
22.05.1983	2793	28.7	142.0	5.1
31.05.1985	3011	14.1	69.8	2.3
12.05.1986	2807	57.9	286.4	10.2
18.05.1988	3048	41.9	207.3	6.8
04.06.1995	4259	34.5	170.7	4.0

Det antas at lokalfeltets bidrag er 5 % av det totale tilløpet ved alle gjentaksintervall. I tabell 11 er de valgte verdiene for flomvannføringer sammenfattet.

Tabell 11. Flomvannføringer i Glomma oppstrøms Øyeren og tilløpsflommer til Øyeren, døgnmidler.

	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
Tilløp Øyeren (flomfr.analyse)	2250	2729	3122	3419	3838	4149	4456	4858
Lokalfeltet (5 % av tilløpet)	112	136	156	171	192	207	223	243
Glomma ovf. Øyeren (95 % av tilløpet)	2138	2593	2966	3248	3646	3942	4233	4615
Glomma ovf. Øyeren (flomfr.analyse)	2003	2399	2728	3197	3601	3900	4195	4580

Avviket mellom de flomvannføringene i Glomma oppstrøms Øyeren som er funnet ved flomfrekvensanalyser og de som er beregnet som en prosent av tilløpsflommene til Øyeren, er stort ved midlere flom og små gjentaksintervall, men relativt lite, ca. 1 %, ved store gjentaksintervall. Fordi flomdataene som er grunnlaget for de små gjentaksintervallene, dvs. data fra senere år, til stor del er beregnet som summen av vannføringer i Glomma og Vorma oppstrøms samløpet, er de usikre. Det velges derfor å legge verdiene som er beregnet ut fra tilløpsflommene til Øyeren til grunn for å anslå flomverdier i Glomma.

Kulminasjonsvannføringen i Glomma oppstrøms Øyeren antas å være 2 % større enn døgnmiddelvannføringen. Dette er samme forholdstall som ble benyttet for Glomma oppstrøms Vorma ved en tilsvarende flomberegning, NVE-Dokument 10-2000. Under flommen i 1995 kulminerte vannføringen ved Rånåsfoss på en verdi som var ca. 2 % større enn døgnmiddelvannføringen. Resulterende flomvannføringer ved forskjellige gjentaksintervall for Glomma oppstrøms Øyeren er sammenfattet i tabell 12. Flomverdiene er utjevnet til nærmeste hele 10 m³/s. Flomverdiene antas å gjelde for hele strekningen fra samløpet mellom Vorma og Glomma ved Nestangen til utløpet i Øyeren ved Fetsund. Selv om det vil være et tilløp på denne strekningen, kan

det antas å være så lite at det blir neglisjerbart sammenlignet med usikkerheten i de anslåtte flomverdiene.

Tabell 12. Kulminasjonsvannføringer i Glomma oppstrøms Øyeren.

	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
Glomma ovf. Øyeren	2180	2640	3030	3310	3720	4020	4320	4710

5.2 Øyeren

Forholdene som påvirker flomvannstandene i Øyeren er forandret opp gjennom årene, slik at samme tilløpsflom som opptrådte i f.eks. 1960-årene ikke vil føre til samme flomvannstander nå. Beregningen av flomvannstander i Øyeren og flomvannføringer i Glomma nedstrøms Øyeren må derfor baseres på at tilløpsflommer med gitte gjentaksintervall rutes gjennom Øyeren. Gjeldende manøvreringsreglement ved flom og kapasitetskurve ved Solbergfoss kraftverk må legges til grunn ved rutingen.

Som grunnlag for konstruksjon av flomforløp med forskjellige gjentaksintervall, er det utført flomfrekvensanalyse for tilløpet til Øyeren for forskjellig varigheter, opp til 25 døgn. Resultatet er sammenfattet i tabell 13, hvor flomverdier for Q_M, Q₅ og Q₁₀ er beregnet basert på data for perioden 1962-2001, mens flomverdier for større flommer er beregnet basert på data for perioden 1903-2001.

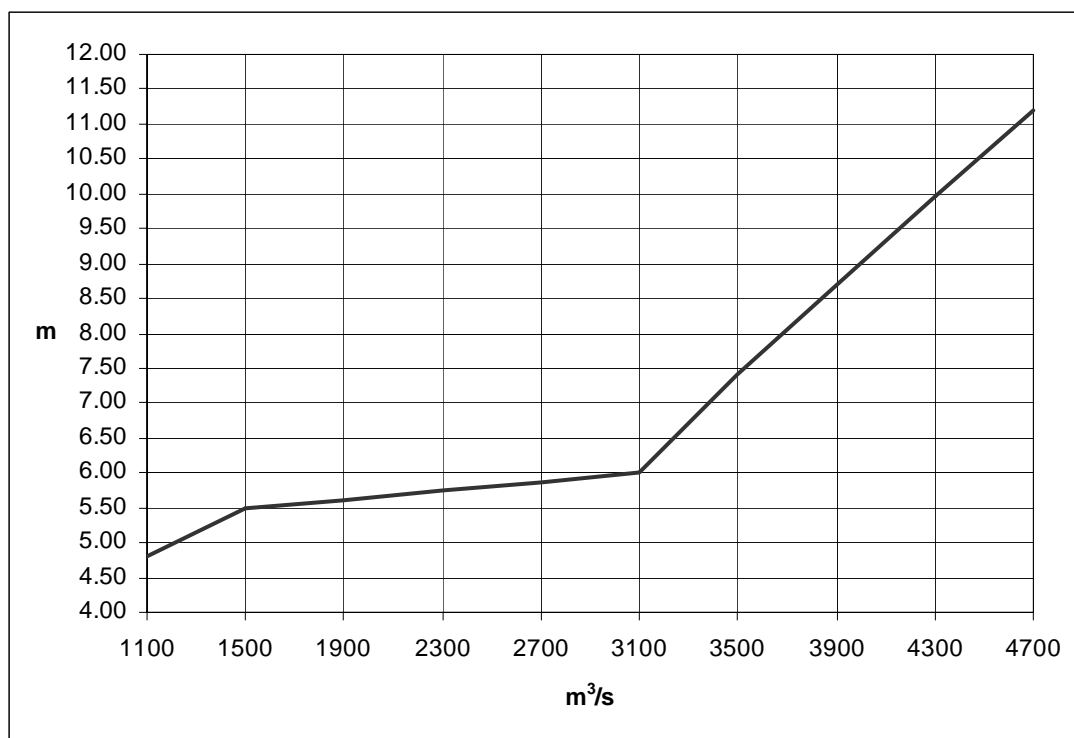
Tabell 13. Flomfrekvensanalyser for tilløpet til Øyeren, flerdøgnsmidler av årsflommer.

Varighet døgn	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	2250	2729	3122	3419	3838	4149	4456	4858
3	2166	2624	3004	3339	3751	4057	4359	4756
5	2102	2542	2905	3243	3642	3938	4230	4613
10	1963	2362	2697	3018	3384	3654	3922	4272
15	1855	2222	2528	2840	3180	3431	3679	4004
20	1772	2114	2389	2669	2955	3162	3364	3626
25	1701	2021	2271	2544	2810	3003	3191	3434

Avløpsflommens størrelse er ikke bare avhengig av tilløpsflommens størrelse/volum, men også av tilløpsflommens forløp. Samme flomvolum i tilløpet vil føre til en større avløpsflom om tilløpsflommens kulminasjon kommer sent, dvs. om magasinet får lengre tid til å fylles opp, enn om tilløpsflommens kulminasjon kommer tidlig, dvs. før magasinet har rukket å fylles opp særlig mye. Tilløpsflommen til Øyeren i 1967 er eksempel på en flom som bygget seg opp langsomt, det tok over tre uker etter at tilløpet hadde oversteget 1000 m³/s til flommen kulminerte. Tilløpsflommen i 1995 er eksempel på en flom som bygget seg opp raskt, flommen kulminerte en drøy uke etter at tilløpet hadde oversteget 1000 m³/s.

Det er derfor ikke gitt hvordan forløpet ved store flommer vil være. I denne beregningen er tilløpsflommen konstruert med et symmetrisk forløp, dvs. med kulminasjon etter ca. 15 dager, hvor den totale varigheten er 25 dager. Flomkulminasjonen antas å være 2 % større enn største døgnmiddel. Ved konstruksjonen av tilløpsflommen er det lagt vekt på at største t-døgnmiddel tilsvarer t-døgnmidlet i tabell 13. Av praktiske årsaker er flomforløpene konstruert slik at 15-døgnsmidlet alltid er korrekt, mens midlet over øvrige varigheter kan være noe større eller mindre, med et avvik på stort sett mindre enn 1%.

Ved beregningen av avløpsflommer og flomvannstander forutsettes at vannstanden er på HRV når tilløpsflommen overstiger $1070 \text{ m}^3/\text{s}$ og at manøvreringsreglementet følges inntil vannstanden overstiger 6.00 m, da dammen skal stå helt åpen. Dette betyr at den vannføringskurve som benyttes ved flomrutingen gir en vannføring på ca. $1520 \text{ m}^3/\text{s}$ ved vannstand 5.5 m, og at vannføringen øker lineært til ca. $3070 \text{ m}^3/\text{s}$ ved vannstand 6.0 m. Det er noe usikkert hva som er dammens totale kapasitet ved høye vannstander og store vannføringer. Det foreligger forskjellige kapasitetskurver, og det er også beregnet ny kapasitetskurve etter at den nye flomluken har erstattet omløpstunnelene. Ved denne beregningen er det benyttet en kapasitetskurve for vannstander over 6.0 m som er hentet fra en udatert graf fra GLB. Kapasitetskurven er vist i figur 10 og formelen for kurven er vist i tabell 14. Kurven gir samhoørende vannstander og vannføringer som overensstemmer med maksimalt 2 % avvik med tilsvarende data som ligger i NVEs database for flomstigningen i 1995.



Figur 10. Kapasitetskurve for Solbergfoss ved vannstander ved 2.125 Mørkfoss.

Tabell 14. Formel for kapasitetskurve for Solbergfoss ved vannstander ved 2.125 Mørkfoss.

$$Q = 563.4488 \cdot (H - 2.96)^{1.0600} \quad 4.80 < H < 5.50$$

$$Q = 3199.7209 \cdot (H - 5.00)^{1.0768} \quad 5.50 < H < 5.97$$

$$Q = 95.6168 \cdot (H + 7.72)^{1.3250} \quad 5.97 < H$$

Den magasinkurve som benyttes for Øyeren er vist i tabell 15.

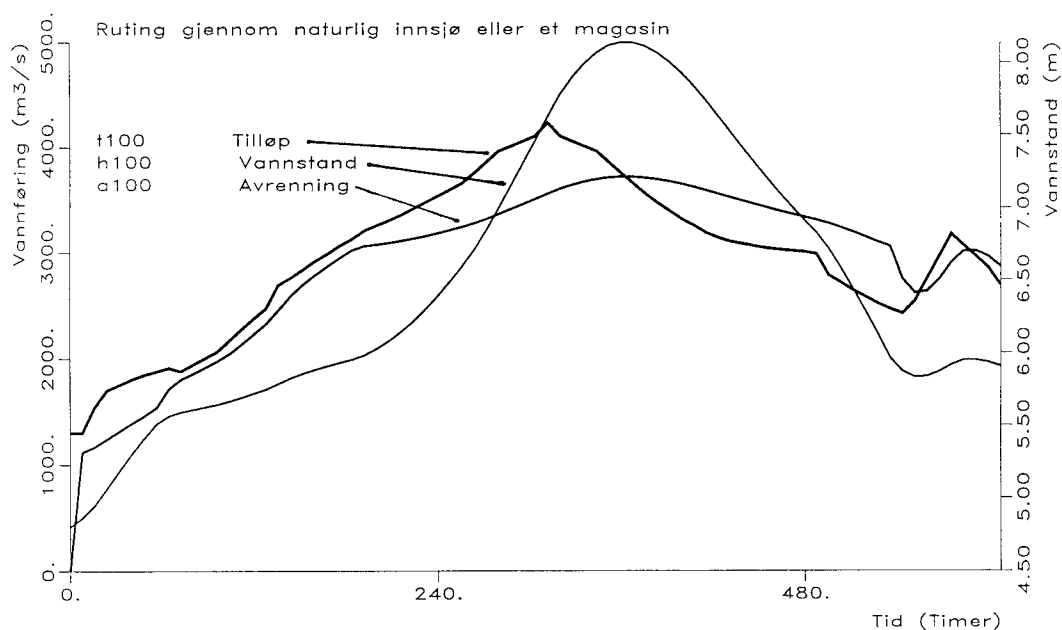
Tabell 15. Magasinkurve for Øyeren, referert til vannstander ved 2.125 Mørkfoss.

Vannstand ved Mørkfoss, m	Volum i Øyeren, millioner m ³
4.00	89.0
5.00	175.5
6.00	273.0
7.00	376.0
8.00	482.0
9.00	594.0
10.00	708.5

Resultatet av beregningen av avløpsflommer ut av og flomvannstander i Øyeren er vist i tabell 16. Figur 11 viser rutingen av tilløpsflom med gjentakintervall 100 år gjennom Øyeren som eksempel på beregningen.

Tabell 16. Flomberegning for Øyeren, flomvannstander og avløpsflommer. Vannstander i Øyeren ved Mørkfoss vannmerke.

Flomstørrelse	Kulminasjonsvannstand i Øyeren, m og moh.	Kulminasjonsvannføring ved Solbergfoss, m ³ /s
Midlere flom	5.72 102.26	2235
5-årsflom	5.85 102.39	2677
10-årsflom	5.96 102.50	3046
20-årsflom	6.48 103.02	3217
50-årsflom	7.39 103.93	3492
100-årsflom	8.14 104.68	3722
200-årsflom	8.89 105.43	3957
500-årsflom	9.88 106.42	4273

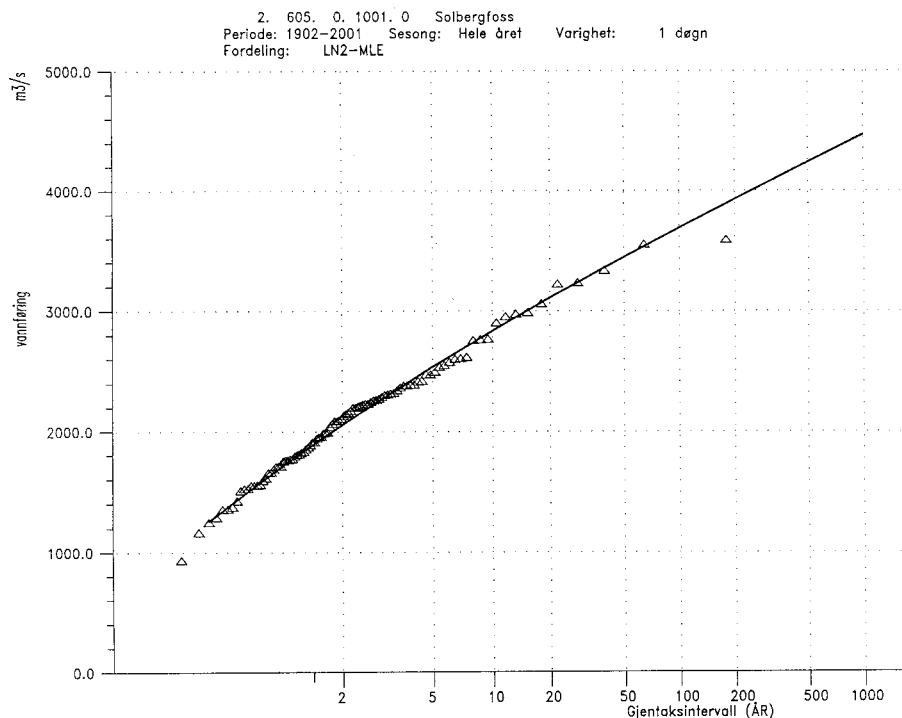


Figur 11. Ruting av tilløpsflom med 100 års gjentakintervall gjennom Øyeren. Tilløpsflommen kulminerer på 4232 m³/s, avløpsflommen på 3722 m³/s og vannstanden på 8.14 m på Mørkfoss vannmerke.

Gjennomsnittlig flomvannstand i Øyeren etter at de siste senkningsarbeidene ble fullført i utløpet i 1974 er 5.73 m, dvs. i god overensstemmelse med resultatet fra flomrutingen. For å kontrollere resultatet av flomrutingen er det også gjort frekvensanalyse på observerte flommer ved Solbergfoss. Dette er gjort både for perioden fra og med 1975, dvs. etter at senkningsarbeidene ble avsluttet, og for hele perioden som det finnes data for i strekningen nedstrøms Øyeren. Som nevnt i kapittel 4 er det nemlig ikke noen åpenbare indikasjoner på at flomforholdene i Glomma nedstrøms Øyeren har blitt særlig forandret i løpet av de siste århundredet. Resultatet av flomfrekvensanalysene er vist i tabell 17 og i figur 12 er analysen for perioden 1902-2001 vist grafisk.

Tabell 17. Flomberegning for Solbergfoss. Vannføringer i m³/s.

Flomstørrelse	Flomfrekvensanalyse for Solbergfoss, 1902-2001	Flomfrekvensanalyse for Solbergfoss, 1975-2001	Ruting av tilløpsflommer
Midlere flom	2118	2101	2235
5-årsflom	2538	2569	2677
10-årsflom	2836	2874	3046
20-årsflom	3107	3142	3217
50-årsflom	3443	3463	3492
100-årsflom	3687	3688	3722
200-årsflom	3926	3901	3957
500-årsflom	4236	4170	4273



Figur 12. Flomfrekvensanalyse for 2.605 Solbergfoss, 1902-2001.

Flomfrekvensanalysene for de forskjellige periodene gir omtrent samme resultat, slik at det vurderes som riktig at flomforholdene i Glomma nedstrøms Øyeren i hovedsak er uforandret de siste ca. ett hundre år. Når man tar i betraktning at flomfrekvensanalysene er utført på døgnverdier og rutingen av tilløpsflommer har gitt kulminasjonsverdier, viser tabell 17 at metoden å beregne avløpsflommer ved å rute tilløpsflommer gjennom Øyeren resulterer i noe større flomverdier ved små gjentaksintervall og noe mindre flomverdier ved store gjentaksintervall, enn hva flomfrekvensanalysene gir.

De resulterende verdiene for flomvannstander i Øyeren, i tabell 16, betyr at pga. de siste senkningsarbeidene vil en flomvannstand som den i 1967 ha et gjentaksintervall på mer enn 500 år. Flomvannstanden i 1995 har et gjentaksintervall på i underkant av 100 år.

Ved å sammenligne observerte kulminasjonsvannstander ved Mørkfoss vannmerke med samtidige observasjoner ved andre målestasjoner i Øyeren, er det mulig å anslå vannstandsforskjellene i innsjøen ved flomkulminasjoner. Ut fra en slik sammenligning anslås vannstanden ved målestasjonen 2.349 Øyeren 2 å være 4 – 10 cm høyere enn vannstanden ved 2.125 Mørkfoss ved flomkulminasjon. Vannstanden ved målestasjonen 2.139 Øyeren anslås å være 20 – 30 cm høyere enn vannstanden ved Mørkfoss, vannstanden ved 2.587 Fetsund bru anslås å være 30 – 45 cm høyere og vannstanden ved 2.330 Aamodt til 20 – 25 cm høyere enn ved Mørkfoss. Disse anslag er usikre, særlig det for Aamodt hvor det foreligger lite data hvor høydegrunnlaget er kjent.

5.3 Glomma nedstrøms Øyeren

Ved flommer i Glomma som vesentligst skyldes snøsmelting er områdene nedstrøms Øyeren frie for snø. Eventuelt bidrag fra regn fra disse områdene har vanligvis rent av før flommen fra Gudbrandsdalen og Østerdalen når de nedre delene av Glomma. Samtidige observasjoner ved noen målestasjoner i og rundt nedre delen av Glommavassdraget med noen store flommer ved Solbergfoss i senere år er studert. Stasjonene er 2.633 Stortorp i Rakkestadelva og 3.22 Høgfoss i Hobølelva i Mosseavassdraget, og kan antas å være representative for vannføringsforholdene i Glommas lokalfelt nedstrøms Øyeren. Observasjonene viser at vannføringen ved disse stasjoner har vært relativt liten ved de fleste flomkulminasjoner i Glomma. Unntaket er høstflommen 1987, som skyldtes en kraftig regnepisode, særlig i de sørlige delene av Østlandet. Da hadde det vært stor flom ved Stortorp og Høgfoss en dag eller to før flommen kulminerte i Glomma. Denne høstflommen er imidlertid ikke en av de mer ekstreme flommene i vassdraget. Ved store flommer i Glomma kan man derfor anta at bidraget fra lokalfeltet nedstrøms Øyeren er relativt lite og heller ikke avhengig av gjentaksintervall på flommen i hovedelven. Det antas derfor at flombidraget tilsvarer normalvannføringen i mai-juni, som er ca. $12 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ i følge observasjonene ved Stortorp og Høgfoss.

Det store sjøsystemet i Glomma oppstrøms Sarpsfossen/Sølvstufossen, med et areal på nesten 30 km^2 , fører til at flommene i Glomma dempes. Observasjonene ved 2.66 Furuholmen viser for eksempel at vannstanden har steget med 1.5-1.8 meter i løpet av fire-fem dager under vårflommene på slutten av 1990-tallet. Dette tilsvarer en vannføringsreduksjon på ca. $120\text{-}130 \text{ m}^3/\text{s}$ fordelt jevnt over døgnene. Observasjonene ved 2.67 Trøsken og 2.68 Nipa viser i tillegg at vannstanden der er noe lavere enn ved Furuholmen, bare noen få centimeter ved Trøsken, men opp mot en halv meter ved Nipa under flom.

For å korrekt beregne flomdempingen i dette sjøsystem må tilløpsflommer rutes gjennom det. Denne rutingen vil også gi fordelingen av avløpet i Glommas to grener, hovedløpet ved Sarpsfossen og Ågårdselva ved Sølvstufossen. Det vil også gi flomverdiene på Glommas strekning oppstrøms og nedstrøms samløpet mellom hovedelven og sideløpet gjennom Visterflo. En forutsetning for flomrutingen er at det utarbeides avløpskurver for Sarpsfossen og for Sølvstufossen. I denne omgang blir det bare beregnet tilløpsflommer til sjøsystemet.

Tilløpsflommene til sjøsystemet tilsvarer avløpsflommene fra Solbergfoss, som beregnet ved rutning gjennom Øyeren i avsnitt 5.2, tillagt et jevnt bidrag på $12 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ fra lokalfeltet mellom Solbergfoss og Sarpsfossen. Lokalfeltets areal er 1342 km^2 , slik at bidraget er $16 \text{ m}^3/\text{s}$ for alle varigheter. I tabell 18 er verdiene for tilløpsflommens kulminasjonsvannføring vist.

Tabell 18. Tilløpsflommer til Glommas sjøsystem oppstrøms Sarpsfossen. Vannføringer i m³/s.

Flomstørrelse	Kulminasjonsvannføring
Midlere flom	2251
5-årsflom	2693
10-årsflom	3062
20-årsflom	3233
50-årsflom	3508
100-årsflom	3738
200-årsflom	3973
500-årsflom	4289

6. USIKKERHET

Foreliggende beregning baseres i hovedsak på beregnede tilløpsflommer til Øyeren. Kvaliteten på tilløpsflomverdiene er primært avhengig av kvaliteten på verdiene for totalvannføringen ved Solbergfoss. Den observasjonsserien er satt sammen av data fra 2.126 Langnes for perioden før 1964 og data fra 2.605 Solbergfoss for perioden etter 1964. Data for Langnes er fremkommet på tradisjonell måte, dvs. basert på vannstandsobservasjoner og omregning til vannføring ut fra en vannføringskurve. Data for Solbergfoss er beregnet ut fra kraftproduksjon og lukestillinger.

Ved fastsettelsen av flomverdier for nedre Glomma er det også nødvendig å foreta en rekke valg; hvor mye større er kulminasjonsvannføringen enn døgnmiddelvannføringen, hvor stor del av tilløpet til Øyeren kommer fra lokalfeltet, hvilke forutsetninger skal legges til grunn for ruting av tilløpsflom gjennom Øyeren for å beregne avløpsflom og flomvannstand m.m. Muligheten for slike valg medfører i seg selv en usikkerhet.

Sammenfatningsvis kan datagrunnlaget for flomberegning i nedre del av Glomma karakteriseres som godt, og beregningen kan ut fra dette kriterium klassifiseres i klasse 1, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

Referanser

- GLB, 1995: Glommens og Laagens Brukseierforening, bind III 1968-1993.
- Kanaldirektøren, 1900: Vandstandsobservationer i Glommen indtil 1894.
- Kanalkontoret, 1881: Kanalvæsenets historie del II, Glommens vasdrag.
- NVE, 1978: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport nr. 2.
- NVE, 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport nr. 14.
- NVE, 2000: Prosjekthåndbok – Flomsonekartprosjektet. 5.B: Retningslinjer for flomberegninger.
- NVE, 2000: Flomberegning for Glommavassdraget oppstrøms Vorma. Dokument nr. 10.
- Solem, A., 1954: Norske kraftverker, bind I. Teknisk ukeblads forlag.
- Sætren, G., 1904: Beskrivelse af Glommen. H. Aschehoug & Co. forlag.
- Vogt, F., Solem, A., 1966: Norske kraftverker, bind II. Teknisk ukeblads forlag.

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

Utgitt i Dokumentserien i 2002

- Nr. 1 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Moisåna ved Moi (026.BZ).
Flomsonekartprosjektet (28 s.)
- Nr. 2 Stein Beldring, Lars A. Roald, Astrid Voksø: Avrenningskart for Norge
Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990 (49 s.)
- Nr. 3 Inger Sætrang: Statistikk over tariffer i regional- og distribusjonsnettet 2002 (60 s.)
- Nr. 4 Bjarne Kjølmoen, Hans Chr. Olsen: Langfjordjøkelen i Vest-Finnmark. Glasiohydrologiske
undersøkelser (35 s.)
- Nr. 5 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Skoltefossen i Neidenvassdraget (026.BZ).
Flomsonekartprosjektet (16 s.)
- Nr. 6 Erik Holmqvist: Flomberegning for Reisavassdraget (208.Z).
Flomsonekartprosjektet (28 s.)
- Nr. 7 Inger Sætrang: Oversikt over vedtak. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2001 (18 s.)
- Nr. 8 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Tanavassdraget
Flomsonekartprosjektet (22 s.)
- Nr. 9 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Ørstavassdraget
Flomsonekartprosjektet (18 s.)
- Nr. 10 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Orkla ved Meldal og Orkanger (121.Z)
Flomsonekartprosjektet (23 s.)
- Nr. 11 Asgeir Petersen-Øverleir: Årsrapporter 2001 for de urbanhydrologiske målestasjonene i Norge
(200 s.)
- Nr. 12 Supplering av Verneplan for vassdrag. Høringsdokument (323 s.)
- Nr. 13 Erik Holmqvist: Flomberegning for Hønefoss
Flomsonekartprosjektet (42 s.)
- Nr. 14 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Røssåga
Flomsonekartprosjektet (23 s.)
- Nr. 15 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Nedre Glomma
Flomsonekartprosjektet (34 s.)