RAPPORT

Nr. 4/2022

Flomberegning for Mjøsa/Vorma (002.Z)

Erik Holmqvist og Byman Hamududu

NVE Rapport nr. 4/2022
Flomberegning for Mjøsa/Vorma (002.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Forfatter: Erik Holmqvist og Byman Hamududu
Forsidefotograf: Jens Nicolai Thom

ISBN: 978-82-410-2179-4
ISSN: 1501-2832
Saksnummer: 202202499

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 15

Sammendrag: Det er beregnet flomvannstander i Mjøsa og flomvannføringer i Vorma. Beregningene er baser på både vannstandsdata fra Mjøsa, vannføringsdata fra Vorma og beregning av tilløpsflommer til Mjøsa som så er rutet gjennom innsjøen. Også historiske flomvannstander tilbake til 1789 er inkludert i analysene. Beregningene gir en 200-års flomvannstand i Mjøsa på 127,0 moh. (NN2000), mens beregnet 1000-års flomvannstand er 128,9 moh.

De høyeste observerte flomvannstandene i Mjøsa er i 1860 og 1789 med ca. 128,0 moh. De siste hundre årene er flomvannstandene i 1927 og 1995 de høyeste med ca. 126,2 og 125,8 moh.

Emneord: Flomberegning, Mjøsa, Vorma

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

februar, 2022

Innhold

Forord **3**

Sammendrag **4**

1 Innledning **6**

1.1 Beskrivelse av oppgaven 6
1.2 Beskrivelse av vassdraget 7

2 Datagrunnlag **9**

2.1 Vannstands- og vannføringsstasjoner 9
2.2 Observerte flommer i vassdraget 11
2.3 Historiske flommer i vassdraget 12
2.3.1 Vurdering av endring av utløpskapasitet 12
2.3.2 1860-flom 13
2.3.3 1910-flom 15
2.3.4 1927-flom 16
2.3.5 Flommene i 1967 og 1995 17
2.3.5.1 1967-flommen 18
2.3.5.2 1995-flommen 19
2.3.6 Oppsummering historiske flomhendelser 20

3 Metode **22**

3.1 Formelverk for regional frekvensanalyse 23
3.2 Lokale frekvensanalyser 24
3.2.1 Frekvensanalyse av vannstandsdata 24
3.2.2 Frekvensanalyse av vannføringsdata 29
3.3 Beregning av tilsig, ruting av flomforløp 33
3.3.1 Initialvannstand i Mjøsa og i høyfjellsmagasin ved ruting av flomforløp 33
3.3.2 Flomberegning for damsikkerhet, 500-årsflom 34
3.3.3 Beregning av 20-årsflom m.fl., Norconsult 35
3.3.4 Beregning av 20-årsflom m.fl., NVE 36

4 Endelig valg av flomverdier **41**

5 Vurdering av flomverdier **43**

5.1 Sammenligning mot tidligere flomberegning 43
5.2 Sammenligning mot observerte flommer i vassdraget 43
5.2.1 Våren 2020, mye snø – mulighet for storflom 44
5.3 Usikkerhet og effekt av valg i beregningene 44
5.4 Klassifisering av datagrunnlaget 46

6 Klimapåslag **47**

Referanser **48**

7 Vedlegg **50**

7.1 Vedlegg 1, nedbørfelt 50
7.2 Vedlegg 2, manøvreringsreglement for Mjøsa 51

Forord

Denne rapporten er en oppdatering av flomberegningen utført i 2000 av NVE. Den forrige rapporten ble utarbeidet i forbindelse med flomsonekartlegging av områdene rundt Mjøsa og langs Vorma i Innlandet og Viken fylker, og den er dokumentert i (13).

Flomsonekartlegging er et viktig hjelpemiddel i arealdisponering langs vassdrag og for fylker og kommuner sin beredskapsplanlegging.

NVE har i dette prosjektet beregnet flomvannstander i Mjøsa med gjentaksintervall fra 5 og opptil 1000 år. 500-årsflomvannstand beregnes av Norconsult på oppdrag av dameier med tanke på damsikkerhet.

For Mjøsa og Vorma er det antatt at flomverdiene ikke vil øke på grunn av ventede klimaendringer.

Flomberegningen er utført av Erik Holmqvist og Byman Hamududu og er kontrollert av Per Ludvig Bjerke og Péter Borsányi.

Oslo, januar 2022

Elise Trondsen
Seksjonssjef seksjon for vannbalanse (HV)

Hege Hisdal
Direktør, Hydrologisk avdeling

Sammendrag

Det ble utført flomberegninger for Mjøsa/ Vorma i 2000 og dette er rapportert i (13). Tilhørende flomsonekart for Gjøvik, Hamar, Lillehammer og Eidsvoll ble laget i løpet av årene 2002-2007 og er rapportert i (5), (7), (8) og (9).

I Mjøsa/ Vorma forekommer de fleste flommer i forbindelse med snøsmelting og eventuelt regn på våren og sommeren. Enkelte høstflommer har også forekommet. De største flommene forårsakes gjerne av en kombinasjon av snøsmelting og regn.

Vassdraget er regulert med over 20 reguleringsmagasiner. Mjøsa er Norges største innsjø med et areal på 369 km^2. Den er også blant Norges fem største når det gjelder reguleringsvolum (1312 mill m^3), som er volumet mellom høyeste (HRV = 123,15 moh.) og laveste regulerte vannstand (LRV = 119,54 moh.). Mjøsa reguleres av damlukene ved Svanfoss, som ligger i Vorma 22 km nedenfor Minnesund og 9 km oppstrøms samløpet med Glomma. Kapasiteten gjennom lukene ved Svanfoss påvirkes blant annet av vannstanden i Glomma.

I dette prosjektet er beregnet 200-års flomvannstand i Mjøsa lik 127,0 moh. (NN2000). Dette er omkring 40 cm høyere enn beregnet i år 2000. Dette er basert både på frekvensanalyse av vannstandsdata fra Mjøsa tilbake til 1789, og ruting av beregnede tilsigsflommer gjennom Mjøsa ved bruk av to ulike hydrauliske modeller.

Beregningene basert på vannstandsdata fra Mjøsa og beregningene med de hydrauliske modellene gir flomvannstander i Mjøsa som harmonerer rimelig godt.

Årsaken til at beregningene nå gir for eksempel en 200-årsflomvannstand som er ca. 40 cm høyere enn i år 2000, skyldes at vi nå har inkludert historiske flomvannstander i analysene. I år 2000 ble kun data fra perioden 1961-1999 benyttet. Hvis vi igjen kun benytter data etter 1961, gir analysene en 200-års flomvannstand som er 40 cm lavere enn resultatet for 20 år siden. Dette er urimelig sett i lys av at det da ville vært observert 5 flomvannstander over 200-års flomnivå siste 230 år.

I tråd med nye anbefalinger med hensyn til inkludering av historisk informasjon ved flomfrekvensanalyser (2), er derfor flomvannstander over gitte terskler inkludert i analysene. Verktøy for slike analyser er utviklet av NVE de siste par årene, og var ikke tilgjengelig i år 2000. Resultatet av beregningene er oppsummert i tabell 1.

Tabell 1. Beregnede flomvannstander (NN2000) for Mjøsa og vannføringer for Vorma ved Svanfoss.

Beregningspunkt	H_M	H_5	H_{10}	H_{20}	H_{50}	H_{100}	H_{200}	H_{1000}
Mjøsa (moh.)	123,74	124,1	124,4	124,8	125,7	126,3	127,0	128,9
Beregningspunkt	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_{1000} m^3/s
Vorma ved Svanfoss	940	1120	1260	1410	1610	1760	1930	2350

De beregnede flomvannstandene ovenfor er basert på analysene av vannstandsdata for Mjøsa, men med støtte i de hydrauliske beregningene.

Det er satt opp en hydraulisk modell av Norconsult i forbindelse med flomberegninger knyttet til damsikkerhet ved Svanfoss. Videre har NVE en modell for Mjøsa/ Glomma som benyttes i flomvarslingen. Både manøvreringen av lukene ved Svanfoss, og vannstanden/ vannføringen i Glomma påvirker avløpskapasiteten i Vorma. Dette håndteres av de hydrauliske modellene.

Som input til disse modellene er det beregnet tilsigsflommer med ulike gjentaksintervall som deretter er routet gjennom vassdraget. Beregnede tilsigsflommer er levert av Norconsult i forbindelse med flomberegninger for damsikkerhet som de har utført i 2021. I disse beregningene er det lagt til grunn at det er noe ledig lagringskapasitet i magasinene oppstrøms Mjøsa, mens for Mjøsa er det utført beregninger med startvannstander som varierer fra HRV til 2,0 m under HRV.

Rutingberegningene gir en variasjon i beregnet 200-årsflomvannstand på i størrelses-orden 30 – 50 cm avhengig av hvordan lukene manøvreres under flomforløpet, og 30 – 60 cm avhengig av startvannstanden i Mjøsa. De ulike beregningene gir resultater som ligger både godt over og noe under det analyse av vannstandsdataene ga.

Datagrunnlaget for flomberegningene for Mjøsa og Vorma karakteriseres som godt. I (16) er det anbefalt å vurdere det hydrologiske datagrunnlaget som brukes i flom-beregningen ut fra en skala fra 1 til 5, der 1 er beste klasse og 5 er dårligst. Det hydrologiske datagrunnlaget vurderes for denne flomberegningen å være i klasse 1 «Godt hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i vassdraget».

Det er viktig å være klar over at selv om en har lange dataserier, og i Mjøsas tilfelle opplysninger om ekstreme vannstander tilbake til 1789, er det usikkerhet knyttet til analysene. Våre statistiske beregninger anslår en usikkerhet på omkring 1 m i beregnet 200-års flomvannstand og 2 m i beregnet 1000-års flomvannstand. For lavere gjentaksintervall er usikkerheten mindre.

1 Innledning

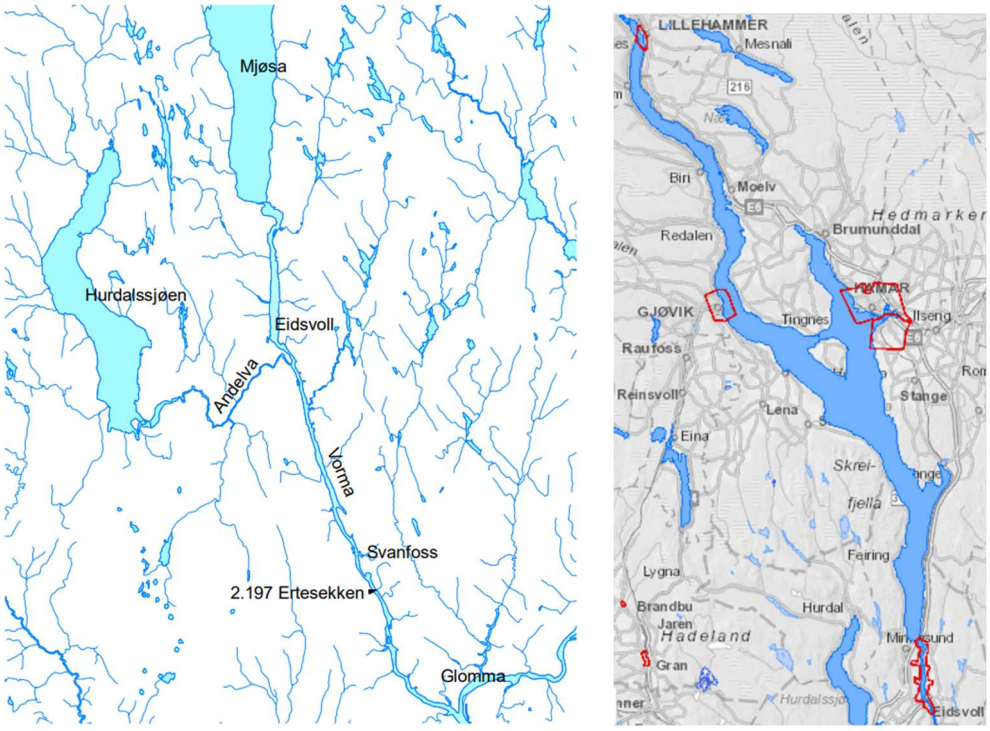
1.1 Beskrivelse av oppgaven

I 2000 gjorde NVE en flomberegning (13) som grunnlag for flomsonekartlegging både rundt Mjøsa og langs Vorma. I 2021 er det starte opp et arbeid med nye flomberegninger for damsikkerhet for Svanfoss (11). Her er det beregnet en 500-års flomvannstand i Mjøsa, som er ca. 0,1 m høyere enn det tidligere beregninger for flomsonekart ga. I disse beregningene er det forutsatt at alle lukene ved Svanfoss står åpne under hele flomforløpet. Denne forutsetningen er imidlertid noe gunstigere, med tanke på flomstigning i Mjøsa, enn om manøvreringsreglementet legges til grunn. Nye beregninger fra dameier er under arbeid, og en endelig avgjørelse om vilkår knyttet til beregnet 500-års flomvannstand må tas når disse foreligger.

NVE har ønsket å få oppdaterte tall også for 1000-årsflommen for Mjøsa, og å kontrollere tidligere beregnede flomstørrelser for lavere gjentaksintervall. Det ble derfor bestemt i 2020 at NVE oppdaterer grunnlaget for flomsonekart rundt Mjøsa basert på den kunnskapen og det datagrunnlaget vi nå har. Der ikke annet er nevnt, er flomvannstander for Mjøsa gitt i høydesystemet NN2000, unntaket er i diverse figurtekster hvor NN1954 er benyttet. Det skyldes at vannstand fra målestasjonen 2.101 Mjøsa er lagret i dette høydesystemet i NVEs database. For Mjøsa ved Hamar er NN2000 = NN1954 + 21 cm (NVE Høydedifferanse fra NN54 til NN2000). I tidligere flomsonekart (5, 7, 8 og 9) er høydesystemet NN1954 benyttet.

For Mjøsa er det ikke forventet at klimaendringer vil gi økte flomvannstander (6).

Figur 1 viser den sørlige delen av Mjøsa og Vorma ned til samløpet med Glomma og områdene hvor det tidligere er laget flomsonekart for Mjøsa. Flomsonekartene omfatter Hamar, Lillehammer, Gjøvik og Eidsvoll.



Figur 1. Til venstre, sørlige del av Mjøsa og Vorma ned til samløpet med Glomma. Til høyre er det markert de områdene hvor det er utarbeidet flomsonekart rundt Mjøsa.. Kartet er laget i ***NVE Atlas.***

1.2 Beskrivelse av vassdraget

Mjøsa er Norges største innsjø med et areal på 369 km^2. Innsjøen er drøyt ti mil lang og er en del av Glommavassdraget. Gudbrandsdalslågen er det viktigste tilløpet med et nedbørfelt på drøyt 11500 km^2. Totalt nedbørfelt ved Mjøsas utløp er 16568 km^2. Elven Vorma, renner ut av Mjøsa og ca. 3 mil sørover før den renner sammen med Glomma fra Østerdalen. Nedbørfeltets areal ved utløpet i Glomma er 17545 km^2.

Gudbrandsdalslågen drenerer en stor del av Jotunheimen ved sideelvene Otta, Sjoa og Vinstra. Hovedelven kommer fra Lesjaskogvatn på vannskillet mot Romsdalen. Gudbrandsdalslågen får tilløp fra østsiden av dalen ved en rekke mindre elver fra Dovre, Rondane og fjellpartiet over mot Østerdalen. Høyeste punkt i Mjøsas nedbørfelt er Galdhøpiggen på 2469 moh. Midlere felthøyde er 950 moh., mens Mjøsa ligger på ca. 123 moh.

Nedstrøms Mjøsas utløp ved Minnesund får Vorma bare ett større tilløp; Andelva, som kommer fra Hurdalssjøen. Hurdalssjøen har et nedbørfelt på 579 km^2, mens nedbørfeltet ved Andelvas utløp i Vorma er 714 km^2. De øvrige tilløpene til Vorma er små.

Normal årsavrenning (1961-90) i Vorma er ca. 19 l/s/km^2, som tilsvarer en vannføring på ca. 330 m^3 /s. For perioden 1991-2020 gir observasjoner ved Ertesekken en årsmiddelvannføring på drøyt 350 m^3 /s. Aktuelle feltparametere for beregningspunktene er oppsummert i tabell 2.

Tabell 2. Feltparametere for Mjøsa og Vorma ved Svanfoss.

Beregningspunkter	**Feltareal**	**Q_N* (l/s/km^2**	**Q_N* (m^3/s)**
Mjøsa ved utløp Minnesund	16555	19	315
Vorma ved Svanfoss	17488	19	329

* Avrenning er beregnet fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990. Areal fra NVE-Atlas.

Årets høyeste vannstand i Mjøsa opptrer vanligvis i forbindelse med snøsmelting i mai-juli. Enkelte år har årets største vannføring ut av og høyeste vannstand i Mjøsa vært om høsten i forbindelse med kraftig regn.

Vassdraget er regulert med over 20 reguleringsmagasiner. Mjøsa reguleres av fire damluker ved Svanfoss, som ligger i Vorma 9 kilometer oppstrøms samløpet med Glomma. Kapasiteten gjennom lukene ved Svanfoss påvirkes av vannstanden i Glomma. Bildet på forsiden av rapporten viser situasjonen 12. april 2005. Da bildet ble tatt stod lukene helt åpne for å få ned vannstanden i Mjøsa før vårflommen. Vannføringen i Vorma var da 145 m^3/s og i Glomma ved Skarnes ca. 210 m^3/s.

Vassdraget har en reguleringsgrad på ca. 24 % (inklusive volumet av Mjøsa). Eksklusive Mjøsa blir reguleringsgraden omtrent halvert (ca. 12 %). Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB) har gjort beregninger som antyder at flomvannstandene i Mjøsa i både 1995, 2013 og 2014 ble redusert med ca. 60 cm som følge av reguleringene i vassdraget. Disse beregningene er gjengitt i (10).

Det er grunn til å tro at reguleringenes flomdempende virkning avtar med økende flomstørrelser, fordi flere magasin når HRV/ går i overløp ved en storflom enn ved en mer moderat flomsituasjon. Dette er også et av funnene i Stenius m.fl. 2021 (15), hvor det er konkludert med at «*Ledig magasinkapasitet i starten av flomforløpet gir generelt reduserte flommer, også for de ekstreme flommene, men effekten minker med økende størrelse på flommene.*»

2 Datagrunnlag

2.1 Vannstands- og vannføringsstasjoner

De viktigste vannførings- og vannstandsstasjonene i forbindelse med flomberegninger for Mjøsa/ Vorma er listet opp i tabell 3. Stasjonenes plassering er vist i figur 2.

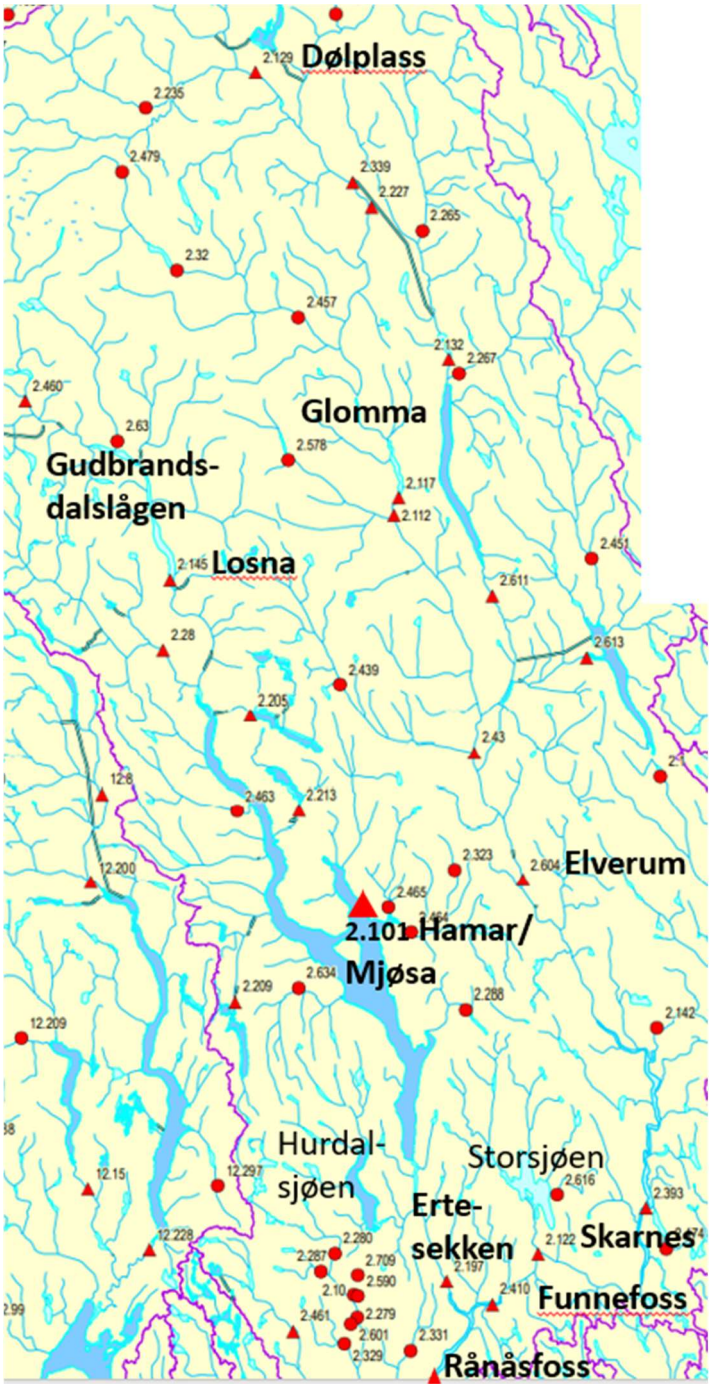
2.145 Losna, som ligger i Gudbrandsdalslågen. Her er det registrert vannføring siden 1896. 2.101 Hamar registrerer vannstanden i Mjøsa. Stasjonen har sammenhengende data siden 1908. Data i Hydra II er lagret i høydessytemet NN1954, for å konvertere til NN2000 er det lagt til 21 cm. For Mjøsa fins det og registrering av flere historiske flomhøyder tilbake til 1789. Disse er også sentrale i vurderingen av flomstørrelsene i vassdraget. 2.197 Ertesekken registrerer vannføringen i Vorma rett nedstrøms Svanfoss. Her har det vært registreringer siden 1931. Stasjonene 2.129 Dølplass, 2.604 Elverum og 2.122 Skarnes, som alle ligger i Glomma, er spesielt benyttet for vurdering og diskusjon rundt flomvannstander og flomvannføringer i Vorma i årene 1860, 1910 og 1927 (se kapittel 2.2.1).

Tabell 3. Feltkarakteristika for aktuelle vannstands- og vannføringsstasjoner.

Stasjon	**Måle-periode**	**Felt-areal** km^2	**Q_N** l/s/km^2	**Q_{obs}** l/s/km^2	**Eff. sjø** (%)	**Median-høyde** moh.	**Reg.grad volum** (%)
2.145 Losna	1896-dd	11205	24	22 (22)	0,19	1138	13
2.101 Hamar/ Mjøsa	1908-dd	16555	20	kun vst	2,3	951	24
2.197 Ertesekken	1931-dd	17496	20	19 (18)	2,1	921	24
2.129 Dølplass	1908-dd	2014	14	14*	0,08	1099	10
2.604 Elverum	1871-dd	15450	16	16 (16)	0,1	817	11
2.122 Skarnes	1887-dd	20301	14	13**	0,07	721	9

Q_N årsmiddelavrenningen i perioden 1961-90 beregnet fra NVEs avrenningskart.
Q_{obs} årsmiddelavrenningen beregnet for periode med tilgjengelige observasjoner.
* Dølplass 1909-1970, dvs. før overføring ut til Einunna.
** Skarnes 1977 – 2020, mye hull i eldre data og en del observasjonsbrudd også i denne perioden

Det er et relativt komplisert forhold mellom vannstanden i Mjøsa og vannføringen ut av Mjøsa i Vorma. Det har flere årsaker. For eksempel kan en ved samme vannstand i Mjøsa, få ulike vannføringer i Vorma. Dette kan skyldes både ulike lukestillinger ved Svanfoss, eller forskjellig samtidig vannstand/ vannføring i Glomma. Vannføringen vil øgså kunne være ulik for samme vannstand i forhold til hvor en er i et flomforløp. På stigende flom vil vannstanden i elveløpet nedstrøms vanligvis være lavere ved en gitt vannføring enn når flommen er på retur (hystereseeffekt).



Figur 2. Vannstands- og vannføringsstasjoner i området.

2.2 Observerte flommer i vassdraget

De ti høyeste observerte flomvannstandene i Mjøsa er gitt i tabell 4. Av disse er seks fra perioden før og fire fra perioden etter at de kontinuerlige vannstandsregistreringene startet i 1908. De historiske flomvannstandene er blant annet publisert i forrige flomberegningsrapport for flomsonekartlegging (13).

De fem største flomvannføringene som er observert i Vorma ved Ertesekken er listet opp i tabell 5. Her har det vært målinger tilbake til 1931. Det betyr at for 8 av de 10 høyeste observerte flomvannstandene i Mjøsa er det ingen samtidige observerte vannføringer ved Ertesekken. For enkelte av de historiske flomvannstandene er vannføringen ved Ertesekken beregnet ved indirekte metoder (se neste avsnitt, kapittel 2.2.1).

Tabell 4.

De ti høyeste observerte flomvannstandene i Mjøsa.

År	**Dato**	**Vannstand** moh.	**Rang** vannstand Mjøsa
1789	24. juli	128,00	1
1808	Ukjent	126,40	4
1827	5. juni	126,50	3
1846	23. juni	125,70	8
1860	22. juni	127,97	2
1863	26. juni	125,80	7
1910	18. juni	125,60	10
1927	11. juli	126,21	5
1967	7. juni	125,62	9
1995	11. juni	125,84	6

Tabell 5. De fem største observerte flomvannføringene i Vorma ved målestasjonen 2.197 Ertesekken siden målestart i 1931 og samtidig kulminasjonsvannstand i Mjøsa.

År	**Dato**	**Vannføring** m^3/s	**Rang vannføring**	**Vannstand Mjøsa** moh.
1939	28. juli	1266	4	125,19
1967	7. juni	1402	2	125,62
1972	6. juli	1254	5	124,39
1995	11. juni	1650	1	125,84
2013	4. juni	1286	3	124,70

2.3 Historiske flommer i vassdraget

For noen av de historiske flomvannstandene nevnt i kapittel 2.2 (1860, 1910 og 1927) fins det og observasjoner/ beregnede vannføringer fra ulike steder i Glommavassdraget. Men det er ingen observerte vannføringer i Vorma/ utløp Mjøsa fra disse årene. Nedenfor er det gjort vurderinger/ estimater av disse vannføringene. Avløpskapasiteten fra Mjøsa påvirkes også av vannstanden/ vannføringen i Glomma. Det er derfor også estimert vannføringer i Glomma ved samløpet med Vorma for de historiske hendelsene.

Det fins også observert vannstand i Mjøsa under flommen i 1789, denne er kun 3 cm høyere enn under flommen i 1860. Så langt tilbake i tid som 1789 er det imidlertid sparsomt med tilleggsinformasjon om vannføringer/ vannstander ellers i vassdraget, slik at for denne hendelsen er det ikke beregnet vannføring verken ut av Mjøsa eller i Glomma. 1789-flommen er og spesiell ved at et vulkanutbrudd på Island tidligere på 1780-tallet påvirket klimaet i Nord-Europa i flere år (17). Det er heller ikke gjort spesielle beregninger knyttet til de øvrige høye, men mer moderate flomvannstandene i Mjøsa på 1800-tallet (jmf. tabell 4). Også for disse hendelsene er det begrenset med systematisert informasjon fra andre steder i Glommavassdraget.

2.3.1 Vurdering av endring av utløpskapasitet

De beregnede vannføringene i Vorma og Glomma for de historiske flomhendelsene i Mjøsa er kontrollert ved bruk av en hydraulisk modell (MIKE 11). I (1) er det gitt en mer detaljert beskrivelse av modellen. Modellen er kalibrert ut fra observerte vannføringer og vannstander under flommen i 1995. En slik tilnærming forutsetter at avløpskapasiteten fra Mjøsa, gjennom Vorma, ikke er vesentlig endret siden 1860.

I 1860 var det ingen dam ved Svanfoss. Det var derimot en annen dam i Vorma, Sundfossdammen, som ble bygget på 1850-tallet for å bedre forholdene for båttrafikk på Vorma. Denne dammen ble revet i forbindelse med byggingen av Svanfoss dam på starten av 1900-tallet. Under arbeid med Svanfoss dam ble også elveløpet nedenfor dammen noe utvidet, for å kompensere for at «bunnen» ble hevet (3).

I forbindelse med arbeidene med ny E6 ved Minnesund, hvor det ble lagt en midlertidig fylling som innsnevret Vormas elveløp, ble det utført hydrauliske beregninger for å vurdere om dette påvirket avløpskapasiteten i Vorma. Dette ble undersøkt av både NVE og Norconsult sommeren 2020, og begge miljøer kom til samme konklusjon, fyllingen hadde svært liten betydning for flomforholdene i Mjøsa/ Vorma.

Det antas derfor at også de endringene som ble gjort langs Vorma på siste halvdel av 1800-tallet har hatt relativt liten betydning for flomforholdene i Mjøsa. Dette var og konklusjonen Kanalvesenet kom til på 1860-tallet, selv om det lokalt ble uttrykt skepsis til dette: «*Ikke lenge efterat reguleringen yar tatt i bruk, kom der sterke klager fra distriktene oppe yed Mjøsa oyer at flomvannstanden angivelig var blitt forhøiet ved Sundfossdammen. Disse klager gjentok sig frem gjennem årene. Fra kanalvesenets side blev der med støtte av ingeniørkommisjonen hevdet at dammen ikke hadde forverret flomforholdene, mens det motsatte blev hevdet fra den annen side*» (3).

2.3.2 1860-flom

Vannstanden i Mjøsa kulminerte 22. juni 1860 med 127,97 moh. 18. juni, eller 4 dager tidligere, kulminerte vannføringen ved Losna med 2800 m^3/s (18).

Vannføringen ved Losna i 1860 er av samme størrelsesorden som under høstflommen i september 1938. 1938-flommen er den største registrerte ved målestasjonen i løpet av drøyt 120 år (1896 – 2020). Vannstanden ved flomstøtta på Ringebu, som ligger rett oppstrøms Losna, var imidlertid noe høyere i 1860 enn i 1938 (18). Dette antyder at vannføringen muligens var noe større i 1860.

Den største vårflommen over både 1 og 5 døgn, hvor vi har kontinuerlige måledata fra Losna er flommen i 1995. Fire døgn etter kulminasjon i 1995, var vannføringen ved Losna redusert med ca. 1100 m^3/s, fra ca. 2500 til 1400 m^3/s. Flommen i 1860, som hadde et svært stort volum, antas å ha avtatt noe mindre pr døgn enn 1995-flommen. Ut fra dette antas 1860-flommen ved Losna å ha bli redusert med 500 – 1000 m^3/s i løpet av 4 døgn, dvs fra ca. 2800 m^3/s til ca. 1800 – 2300 m3/s.

I Glomma ved Årnes, som er rett nedstrøms samløpet mellom Vorma og Glomma, er det antatt at 1860-flommen kulminerte med 4300 m^3/s og ved utløpet av Øyeren med 4150 m^3/s (18). Fra den samme rapporten finner en at vannstanden/ vannføringen ved Sarpsborg kulminerte 24. og 25. juni. Det vil si kun et par dager etter at avløpet fra Mjøsa kulminerte.

Når Mjøsa kulminerer, vil summen av vannføring ved Losna og lokaltilsiget til Mjøsa/ Vorma balansere avløpsflommen i Vorma. Summen av vannføringen i Vorma og vannføringen i Glomma oppstrøms samløpet må altså være lik vannføringen i Glomma ved Årnes, som 22. juni 1860 er estimert til 4300 m^3/s.

Nedbørfeltet til Mjøsa/ Vorma kan deles i to, Gudbrandsdalslågen (målestasjonen Losna) med et nedbørfelt på ca. 11200 km^2 og et lokalfelt som inkluderer alle andre elver og bekker som drenerer til Mjøsa/ Vorma på ca. 6300 km^2. Medianhøyden i nedbørfeltet til Losna er drøyt 1100 moh., mens for lokalfeltet er den omkring 500 moh. Nedbørfeltet til Vorma ved Ertesekken har en medianhøyde på drøyt 900 moh., mens tilsvarende for feltet til Glomma ved Skarnes/ samløp Vorma er i overkant av 700 moh. (jmf. tabell 4). Lokalfeltet til Mjøsa utgjør ca. ¼ av Glommas felt ved samløp med Vorma.

Hvis det antas samme spesifikke vannføring i lokalfeltet til Mjøsa som for Glomma, får man vannføringer som angitt i tabell 6 med henholdsvis et lavt og høyt anslag for vannføringen ved Losna 22. juni 1860.

Tabell 6. Beregnede vannføringer 22. juni 1860, dvs. da Mjøsa kulminerte.

	Lavt anslag Losna	Høyt anslag Losna
Losna	1800 m^3/s	2300 m^3/s
Lokalfelt Mjøsa	500 m^3/s	400 m^3/s
Vorma	2300 m^3/s	2700 m^3/s
Glomma før samløp Vorma	2000 m^3/s	1600 m^3/s
Glomma v. Årnes	4300 m^3/s	4300 m^3/s

Det er få opplysninger om vannføringen i Glomma oppstrøms samløpet med Vorma fra 1860-flommen. Den er ikke avmerket på flomsteinen ved Elverum, og det er heller ingen rapporter om store flomskader i dette området. Aasmund Olavson Vinje, som gikk fra Kristiania og nordover i 1860, har skrevet dette om sin tur langs Glomma: «*Vaarflaumen var minkat, daa eg foor der, men endaa var det ein unevneleg Hugnad at siga og driva ned igjenom svarte Straumen. Der vaaro fagre Gjentur med i Baaten, og me sungo og spraakade. Ein Gondolfart i Venedig kann ikki vera meir leikande*» (19). Denne relativt lystige beskrivelsen tyder heller ikke på at det nettopp hadde vært en stor skadeflom i denne delen av vassdraget.

Overslagene gir vannføringer i Glomma oppstrøms samløpet på 1600 og 2000 m^3/s. Dette tilsvarer middel til 10-årsflom (14). Vannføringen kan ha vært noe høyere i Glomma før samløp med Vorma i dagene før, uten at det ga nevneverdige flomproblemer i den delen av vassdraget.

Gitt en samtidig vannføring i Glomma på 2000 m^3/s og 2300 m^3/s ut av Mjøsa, antyder de hydrauliske beregningene en vannstand i Mjøsa på ca. 128,1 moh. Observert vannstand i Mjøsa under denne hendelsen er på samme nivå (127,97 moh.). Reduseres vannføringen i Glomma til 1600 m^3/s, samtidig som vannføringen i Vorma økes til ca. 2700 m^3/s, gir et grovt estimat basert på de hydrauliske beregningene en vannstand på mellom 128 og 129 m i Mjøsa. Det er opp mot 1 m over observert vannstand. Ut fra dette antas et lavt anslag for Losna i 1860 å være mest sannsynlig, og at vannføringen i Vorma (ved Ertesekken) dette året kulminerte med omkring 2300 m^3/s.

Dette harmonerer også godt med hydrauliske beregninger utført i forbindelse med flomberegninger for damsikkerhet (Norconsult 2021). Der er det beregnet en vannstand lik den som ble observert i 1860 med en samtidig vannføring på 2000 m^3/s i Glomma (oppstrøms samløp) og ca. 2400 m^3/s (2387 m3/s) i Vorma ved Ertesekken.

2.3.3 1910-flom

Mjøsa kulminerte 18 juni i 1910 med 125,60 moh. Dette året er det ingen observasjoner i Glomma ved Funnefoss, men i Glomma ved Elverum var vannføringen denne dagen 480 m^3/s. Skalering av forholdet mellom vannføringen i Glomma ved samløp Vorma og ved Elverum fra flommene i 1995 og 1927, gir beregnede flomvannføringer på ca. 740 og 670 m^3/s i Glomma ved samløpet under flommen i 1910.

Vannføringen i Glomma ved samløp Vorma kan ha vært større enn det skalering av Elverum-dataene gir. Det skyldes blant annet mellomlagring av vann i Storsjøen, og et større bidrag herifra enn det ren skalering tilsier. Data fra 1927- og 1995-flommene viser at vannføringen ved Skarnes, da flommen var på retur i Glomma, var omtrent den samme som ved Elverum 3-5 dager tidligere. Legger vi dette til grunn også for flommen i 1910, får vi en vannføring ved Funnefoss på ca. 800 m^3/s.

Hydrauliske beregninger viser at med en vannføring i Glomma på ca. 800 m^3/s og vannføringer på henholdsvis ca. 1500 og 1800 m3/s ut av Mjøsa, får vi simulerte vannstander i Mjøsa på ca. 125,2 m og 126,0 m. Observert vannstand i 1910 er 125,6 m. Ut fra dette antas vannføringen ut av Mjøsa ved flommen i 1910 å ha vært ca. 1650 m3/s.

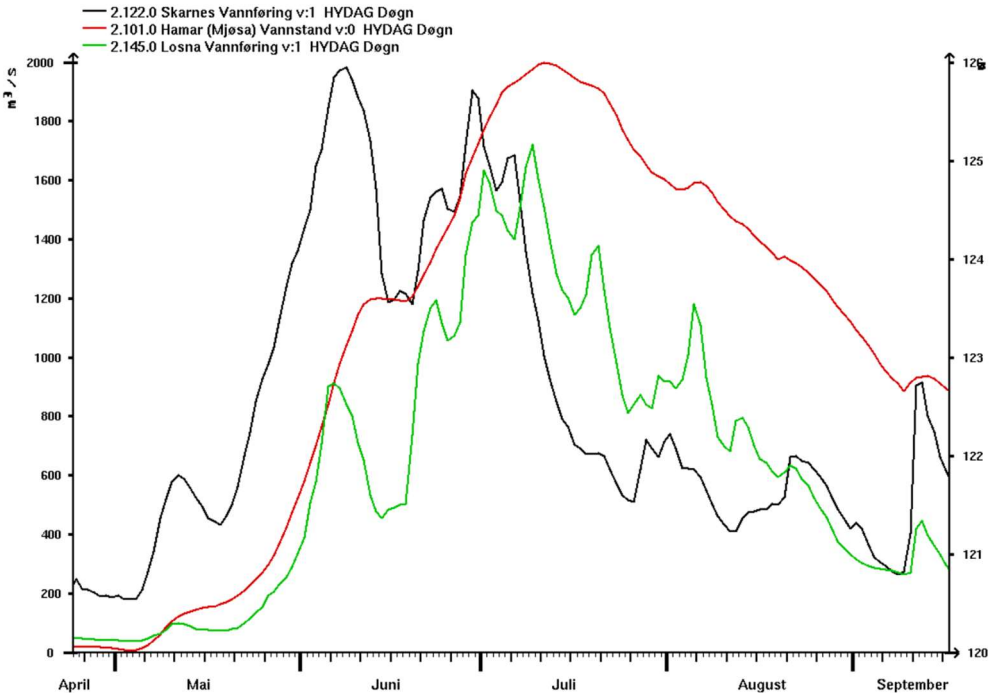
Vannføringen ved Losna var 17. juni drøyt 1700 m^3/s og 18. juni ca. 1320 m^3/s. Nedbørfeltet til Losna utgjør drøyt 60 % av totalfeltet til Mjøsa/ Vorma. Målestasjonen Dølplass, som ligger oppstrøms Elverum i Glomma, drenerer stort sett arealer over 900 moh. Observasjoner fra Dølplass viser at avrenningen rundt midten av juni 1910 i dette høydenivået var omkring 70 $l/s/km^2$. Samtidig var avrenningen for hele Elverums nedbørfelt ca. 50 $l/s/km^2$. For arealene under ca. 900 moh. i nedbørfeltet til Elverum gir dette en avrenning på ca. 40 $l/s/km^2$. Hvis dette antas representativt også for lokalfeltet til Mjøsa/ Vorma, gir det et lokaltilsig på drøyt 250 m^3/s. I sum gir det et totaltilsig til Mjøsa den 18. juni på ca. 1950 m^3/s og 19. juni på ca. 1600 m^3/s. Dette er av samme størrelsesorden som estimert ut fra de hydrauliske betraktningene ovenfor (1650 m^3/s).

2.3.4 1927-flom

For flommen i 1927 fins det kontinuerlige målinger fra både Glomma, Gudbrandsdals-lågen og Mjøsa. Figur 3 viser flomforløpet for Skarnes, Losna og Hamar fra april til september 1927. I Glomma ved Skarnes (oppstrøms samløpet med Vorma) var vann-føringen størst i starten av juni, da var imidlertid ikke snøsmeltingen kommet ordentlig i gang i nedbørfeltet til Gudbrandsdalslågen. Varme og nedbør i overgangen juni/ juli ga ny vannføringsøkning i Glomma samtidig som det ble flom i Lågen og Mjøsa.

Vannstanden i Mjøsa kulminerte 11. juli i 1927 med 126,21 moh. I juni hadde vannføringen i Glomma ved Skarnes vært ca. 2000 m^3/s, men 11. juli var den redusert til ca. 1000 m^3/s. Vannføringen i Gudbrandsdalslågen ved Losna kulminerte 9. juli med 1720 m^3/s, her var vannføringen redusert til ca. 1500 m^3/s to dager etter.

Hvis en igjen antar at det var omtrent samme avrenning i $l/s/km^2$ fra lokalfeltet til Mjøsa, som for områdene mellom Elverum og Dølplass i Glomma, gir data fra disse stasjonene en avrenning som varierte fra ca. 40 – 60 $l/s/km^2$ i dagene før 11. juli. En spesifikk avrenning på ca. 50 $l/s/km^2$ fra lokalfelt Mjøsa tilsvarer et bidrag fra lokalfeltet på ca. 300 m^3/s. Det betyr at da vannstanden i Mjøsa kulminerte, var sum tilsig til Mjøsa og avløp i Vorma omkring 1800 m^3/s.



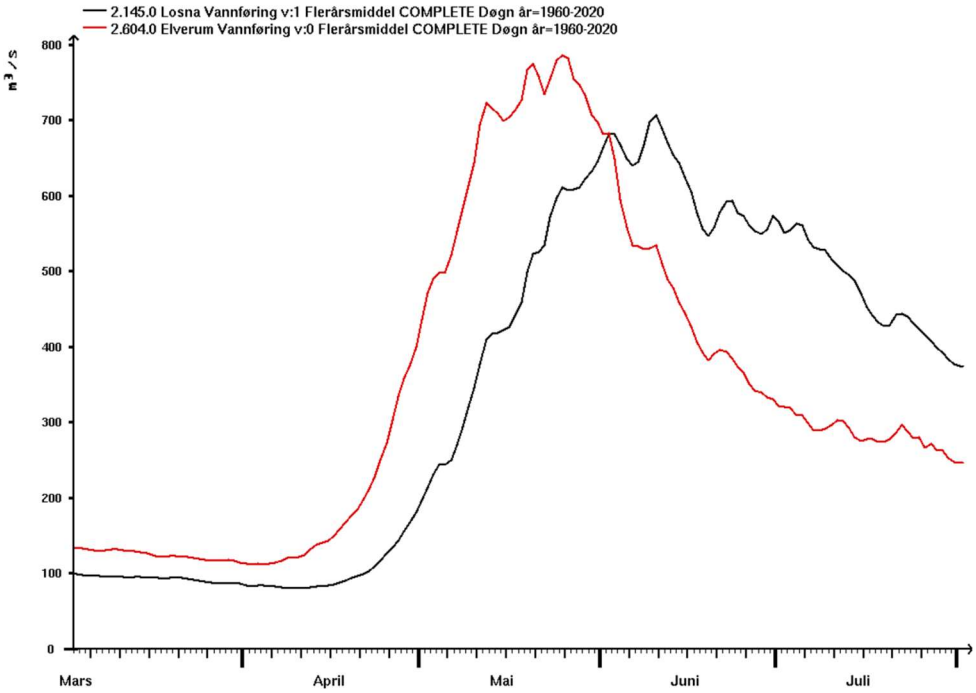
Figur 3. Vannstand Mjøsa (rød strek, høyden på høyre y-akse er gitt i NN1954, for å få NN2000 må det legges til 21 cm). Vannføring Glomma ved Skarnes (svart strek) og Gudbrandsdalslågen ved Losna (grønn strek) i april – september 1927.

De hydrauliske beregningene gir en simulert vannstand i Mjøsa på ca. 126,1 m med vannføringer på ca. 1800 m^3/s i Vorma og 1000 m^3/s i Glomma ved samløp Vorma. Dette er omkring 10 cm lavere enn observert maksimalvannstand i Mjøsa i 1927. Avviket

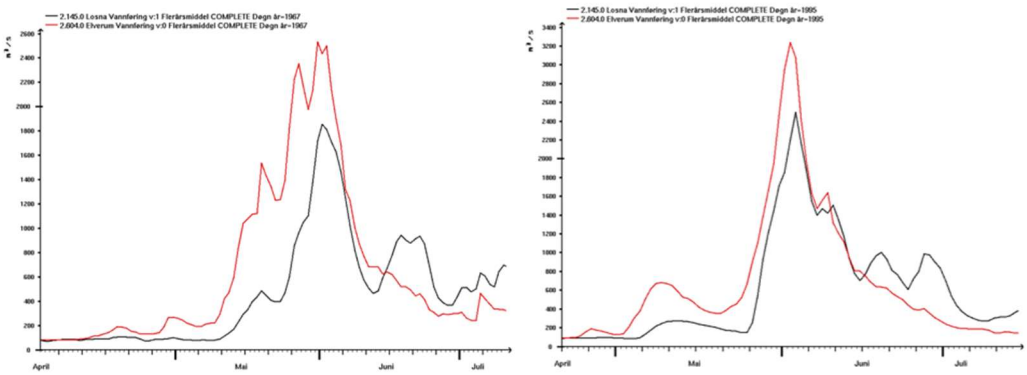
mellom simulert og observert vannstand er liten. Ut fra dette virker det derfor rimelig at avløpskapasiteten i Vorma (ved Svanfoss) i 1927 er sammenlignbar med den i 1995.

2.3.5 Flommene i 1967 og 1995

Vanligvis er vårflommen i Glomma noe tidligere enn i Gudbrandsdalslågen. Fra figur 4 ser en at vannføringen om våren i gjennomsnitt kulminerer 1 – 2 uker tidligere i Glomma enn i Lågen. Årsaken til dette er at mye av nedbørfeltet til Glomma ligger lavere enn feltet til Lågen, det gir vanligvis tidligere snøsmelting i Glomma enn i Lågen. Medianhøyden i de to feltene er 817 og 1138 moh. Av og til kommer imidlertid vårflommen mer parallelt i de to vassdragene. Det skjedde både i 1967 og 1995 (figur 5), som er de to årene som har gitt de høyeste flomvannstandene i Mjøsa siste 60 år.



Figur 4. Midlere vannføring for årene 1960-2020 for 2.145 Losna i Gudbrandsdals-lågen (svart strek) og 2.604 Elverum i Glomma (rød strek).

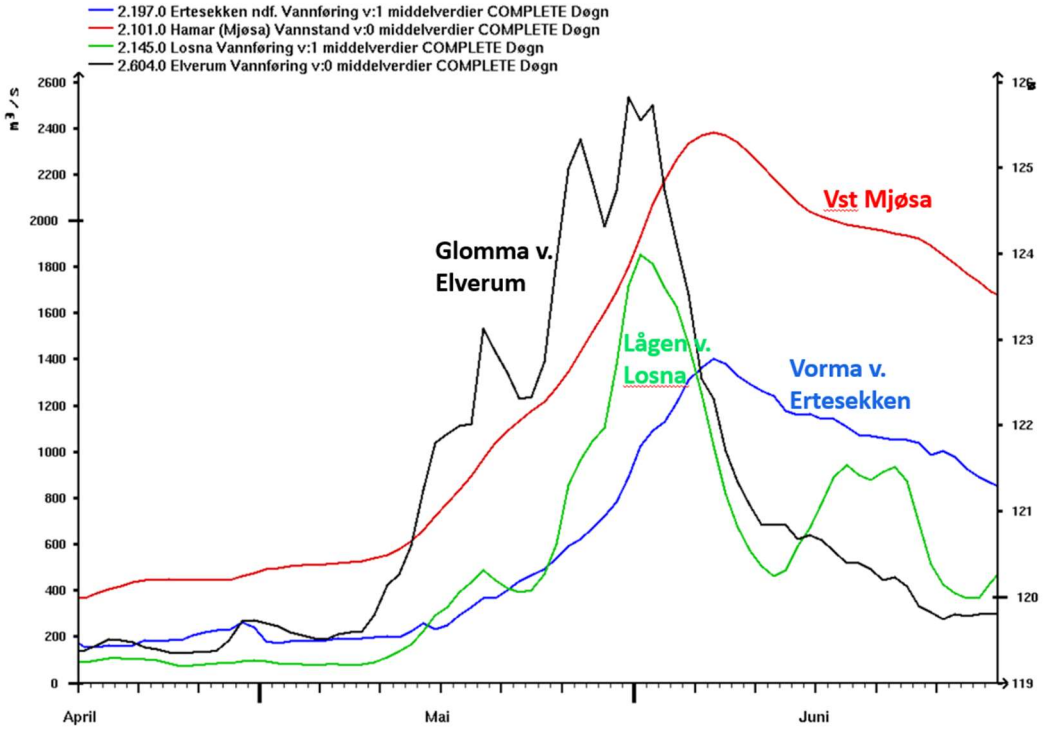


Figur 5. Vannføring våren 1967 (venstre) og våren 1995 (høyre) for 2.145 Losna i Gudbrandsdalslågen (svart strek) og 2.604 Elverum i Glomma (rød strek).

2.3.5.1 1967-flommen

Figur 6 viser flomforløpet i Glomma, Gudbrandsdalslågen og Mjøsa i 1967. I Glomma ved Elverum kulminerte vannføringen i overgangen mai/ juni med omkring 2500 m^3/s og i Gudbrandsdalslågen ved Losna med ca. 1850 m^3/s. Samtidig flom i begge grener ga en høy flomvannstand i Mjøsa.

Vannstanden i Mjøsa kulminerte 7. juni med 125,62 moh. Vannføringen i Vorma ved Ertesekken var da ca. 1400 m^3/s. Det er ingen observasjoner fra Skarnes eller Rånåsfoss under flommen i 1967, slik at vannføringen i Glomma ved samløp Vorma må estimeres ut fra sammenligning med andre data. Vannføringen ved Elverum var 7. juni drøyt 1200 m^3/s, men som nevnt tidligere er ofte vannføringen ved Skarnes omtrent på samme nivå som det den var ved Elverum 3 -5 dager tidligere. 4. juni var vannføringen ved Elverum ca. 2100 m^3/s, det antas at dette er et rimelig estimat for vannføringen ved samløpet den 7. juni.



Figur 6. Vannføring våren/sommeren 1967 i Glomma v. Elverum (svart strek), i Gudbrandsdalslågen ved Losna (grønn strek) og Vorma (blå strek). Vannstand i Mjøsa (rød strek. Høyden på høyre y-akse er gitt i NN1954, for å få NN2000 må det legges til 21 cm).

2.3.5.2 1995-flommen

Figur 7 viser flomforløpet i Glomma, Gudbrandsdalslågen og Mjøsa i 1995. I Glomma oppstrøms samløp med Glomma kulminerte vannføringen 3. juni med ca. 2900 m^3/s, samtidig kulminerte vannføringen i Gudbrandsdalslågen ved Losna med ca. 2500 m^3/s.

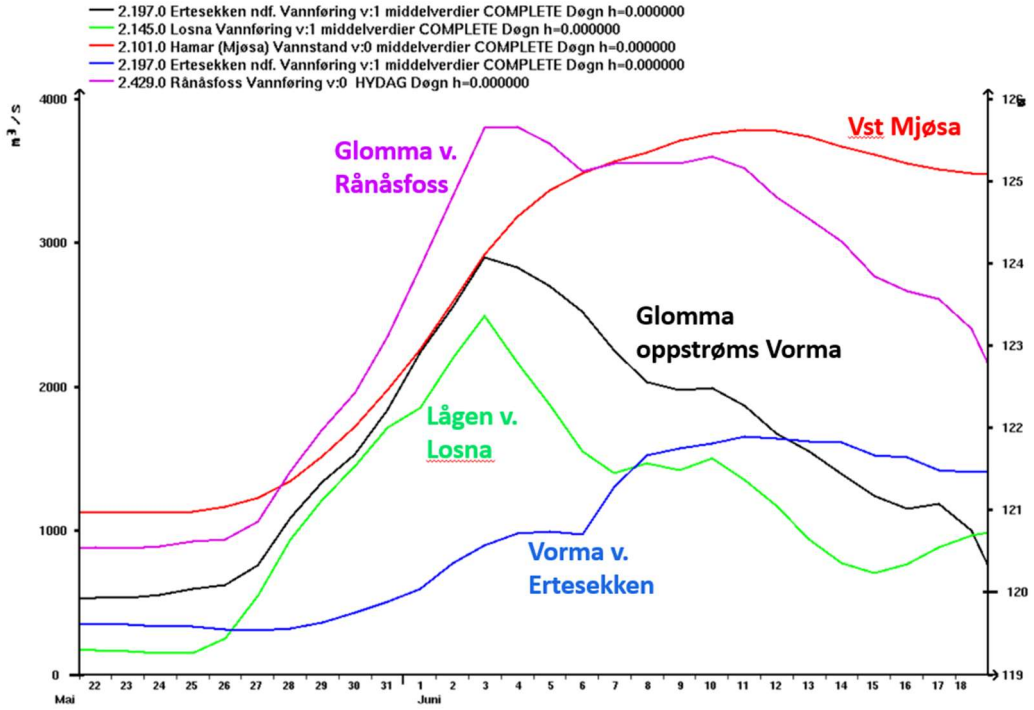
Videre ser en av grafen for Ertesekken (figur 7) at vannføringen i Vorma ble holdt relativt stabil fra 4. – 6. juni. Dette var av hensyn til flomforholdene videre nedover i vassdraget. I Øyeren steg vannstanden med drøyt 2 m fra 1. – 6. juni, deretter var den relativt stabil noen dager før flommen igjen avtok.

Vannstanden i Mjøsa var 26. mai 121,25 moh. (ca. 1,9 m under HRV), 1. juni ble HRV passert. Under flommen i 1995 ble det gitt tillatelse til å åpne luke I helt fra 8. – 15. juni, dvs. en større lukeåpning enn gitt i manøvreringsreglementets punkt 3 (se også kapittel 3.3 om manøvreringsreglement og lukestillinger). Vannstanden 8. juni var 125,55 moh. (eller 2,4 m over HRV). 11. juni kulminerte vannstanden med 125,84 moh., det er omkring 2,7 m over HRV.

Det er også utført beregninger ved hjelp av en hydraulisk modell som viser hvordan flomvannstanden i Mjøsa hadde utviklet seg i 1995 gitt tre ulike manøvreringer av lukene ved Svanfoss.

- Manøvrering som faktisk utført i 1995 (lukestillinger mm er oversendt fra GLB)
- Manøvrering som gitt i manøvreringsreglement
- Manøvrering med helt åpne luker gjennom hele flomforløpet og samtidig noe tapping i omløpstunnelen

Resultatet av disse beregningene viser at vannstanden ville blitt ca. 10 cm lavere enn observert, hvis en hadde hatt åpne luker gjennom hele flomforløpet. Det ville samtidig forverret flomforholdene nedstrøms i Øyeren/ ved Lillestrøm. Hvis en derimot hadde fulgt manøvreringsreglementets punkt 3, dvs. ikke benyttet luke I fullt ut, ville vannstanden blitt ca. 10 cm høyere enn observert. Dette ville hatt liten betydning for flomforholdene i Øyeren, da den økte tappingen fra Mjøsa først kom da vannstanden i Øyeren hadde stabilisert seg.



Figur 7. Vannføring våren/ sommeren 1995 i Glomma oppstrøms Vorma (svart strek), i Gudbrandsdalslågen ved Losna (grønn strek), i Vorma ved Ertesekken (blå strek) og i Glomma ved Rånåsfoss (nedstrøms samløp Vorma og Glomma, fiolett strek). Vannstand i Mjøsa (rød strek. Høyden på høyre y-akse er gitt i NN1954, for å få NN2000 må det legges til 21 cm).

2.3.6 Oppsummering historiske flomhendelser

Vannføring ut av Mjøsa (i Vorma) og i Glomma før samløp med Vorma er beregnet for 3 historiske flomvannstander i Mjøsa. Dette er gjort ut fra tilgjengelige datamateriale og med støtte i hydrauliske beregninger. Resultatene er oppsummert i tabell 7. Til sammenligning er tilsvarende verdier også tatt med for 1967- og 1995-flommen, som har de høyeste flomvannstandene i Mjøsa siden 1927.

En ser fra tabell 7 at under flommen i 1860 og i 1995 var det samtidig høy vannstand i Mjøsa og stor vannføring i Glomma, mens ved flommene i 1927 og 1910 var vannføringen i Glomma vesentlig lavere.

I tabellen er mange av vannføringene avrundet til nærmeste 50 m^3/s. Det skyldes at det er usikkerhet knyttet til slike beregninger. Dette kan illustreres med noen data fra 1995-flommen, som er den flommen hvor vi har best tilgjengelige data. Observasjoner fra målestasjonen Skarnes tilsier at vannføringen i Glomma 11. juni 1995 var 1930 m^3/s. Samtidige målinger ved Ertesekken og Rånåsfoss viser imidlertid at vannføringen i Glomma da var 1855 m^3/s. Ifølge GLB (Glommens og Laagens Brukseierforening) antas målingene ved Ertesekken og Rånåsfoss å ha bedre kvalitet under flom enn de ved

Skarnes. I tabellen under er derfor vannføringen i Glomma før samløp Vorma gitt som differansen mellom disse i 1995.

Tabell 7. Beregnet vannføring i Vorma og i Glomma oppstrøms samløp med Vorma på det tidspunkt Mjøsa kulminerte for tre historiske flomhendelser og 1995-flommen.

År	**Dato**	**Vannstand Mjøsa** moh.	**Vannføring Vorma** m^3/s	**Vannføring Glomma før samløp Vorma** m^3/s
1860	22. juni	127,97	Ca. 2300	Ca. 2000
1910	18. juni	125,60	Ca. 1650	Ca. 800
1927	11. juli	126,21	Ca. 1800	Ca. 1000
1967	7. juni	125,62	1402	Ca. 2100
1995	11. juni	125,84	1650	1855

3 Metode

For Mjøsa og Vorma er følgende metoder for estimering av flomverdier benyttet:

- Bruk av regionale flomformler
- Frekvensanalyse av observerte vannføringsdata
- Frekvensanalyse av observerte vannstandsdata
- Ruting av beregnede tilløpsflommer med ulike gjentaksintervall og initialbetingelser, for deretter beregning av tilhørende flomvannstander/ avløpsflommer

Det fins flere lange dataserier i vassdraget, som vannstandsdata fra Mjøsa (1908-dd) og vannføringsdata fra Vorma (Ertesekken, 1931-dd). For å få mer robuste resultater, er seriene utvidet med tilgjengelige historiske vannstands- og vannføringsdata slik det er anbefalt i for eksempel (2) og (20). Det betyr at ved analyse av flomvannstander er data fra flommene i 1789, 1808, 1827, 1846, 1860 og 1863 inkludert i analysene. Mens for analyse av flomvannføringer er årene 1860, 1910 og 1927 inkludert.

Det er lite litteratur å finne om frekvensanalyse på vannstandsdata. Blant annet i rapportene (2), (16), (20) og (21) er flomfrekvensanalyser behandlet og anbefalinger gitt om hvordan disse bør utføres. Flomfrekvensanalyser utføres vanligvis på vannføringer, og regnes om til vannstander ved bruk av en vannføringskurve. Flomanalyser direkte på vannstander er ikke behandlet i disse rapportene. En årsak til dette er at flomvannføringer er sammenlignbare nedover et vassdrag og fra en elv til en annen, dette i motsetning til vannstander som kun sier noe om forholdene lokalt.

For Mjøsa er det likevel ikke åpenbart at en frekvensanalyse basert på vannføringsdata vil gi det «riktigste» resultatet. Dette blant annet fordi det ikke er noen entydig sammenheng mellom vannføring i Vorma og vannstanden i Mjøsa, som før nevnt skyldes det både påvirkning fra Glomma og lukestillinger ved Svanfoss (se også figur 14 i kapittel 3.2.2).

For flomberegninger for damsikkerhet/ regulerte innsjøer er det i (16) gitt en detaljert beskrivelse av hvordan en går frem for å beregne flomvannføringer og flomvannstander. Her heter det blant annet *«Det skal i første omgang beregnes tilløpsflom fra uregulerte felt. Dette er en hydrologisk oppgave. Målet med en flomberegning i forbindelse med dammer er imidlertid å beregne avløpsflommens maksimale vannføring og vannstand i et magasin. Det er en hydraulisk oppgave når tilløpsflommen er bestemt».*

I tillegg til analyse av direkte observerte vannførings- og vannstandsdata fra vassdraget, er det derfor også laget en tilsigsserie for Mjøsa. Denne tar bort virkningene av oppstrøms magasinering på tilsiget (11, Norconsult 2021). Deretter er beregnede tilsigsflommer med ulike gjentaksintervall og varighet på omkring 4 uker, routet gjennom vassdraget. Det er beregnet tilløpsflommer til Mjøsa og tilhørende flomvannstander og avløpsflommer med gitte betingelser knyttet til både startvannstander i magasinene i høyfjellet, initialvann-stand i Mjøsa, manøvrering av lukene ved Svanfoss og samtidig vannføring i Glomma.

3.1 Formelverk for regional frekvensanalyse

Det er utviklet et formelverk (RFFA2018) for estimering av døgnmiddelflom og flommer med ulike gjentaksintervall. Formelverket, som er basert på ett sett med ligninger for hele Norge, anbefales brukt for felt > 50 km^2 (2).

Størst usikkerhet ligger i beregningen av medianflommen. Generelt antas en usikkerhets-faktor på +/- 1.72. Middelavrenningen er den variabelen som forklarer mest av variasjonen i medianflom. For Mjøsa/ Vorma er middelavrenningen godt bestemt, her er både målt og beregnet verdi ca. 19 $l/s/km^2$. Ligningssettet gir følgende flomverdier for Vorma ved Svanfoss (tabell 8).

De regionale flomformlene gir resultater som er basert på uregulerte vassdrag. For Vorma betyr det at de mindre flommene må antas å være overestimert i forhold til det analyse av observasjoner fra vassdraget vil gi. For sjeldne gjentaksintervall forventes imidlertid mer sammenlignbare størrelser, fordi vassdraget da ventes å nærme seg «uregulerte» forhold.

Tabell 8. Flomvannføringer i Vorma ved Svanfoss /Ertesekken ved bruk av RFFA2018.

Gjentaksintervall	RFFA-2018 m^3/s
Middel	1276
5 år	1573
10 år	1730
20 år	1858
50 år	1994
100 år	2078
200 år	2150
500 år	2229
1000 år	2278

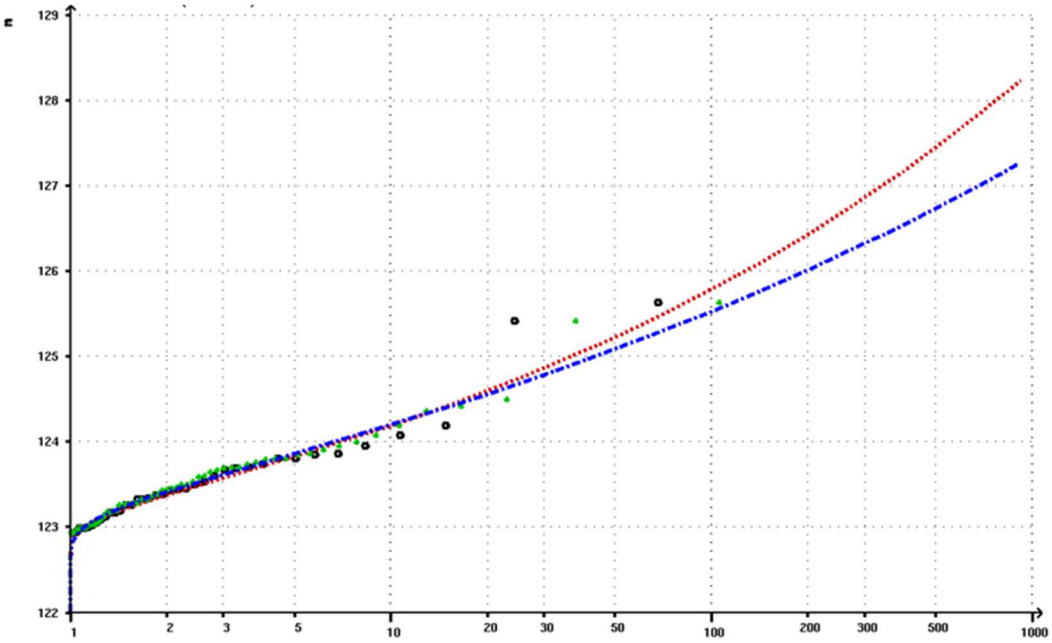
Det er også utviklet et ligningssett for forholdet mellom momentanflom og døgnmiddel-flom (2), for Vorma gir det en faktor på 1,01. For Mjøsa/ Vorma er det så liten forskjell på døgn og kulminasjonsverdier, at her er det valgt å kun analysere døgnverdier. Usikkerheten i resultatene er langt større enn forskjellen mellom døgn- og kulminasjonsverdier.

3.2 Lokale frekvensanalyser

3.2.1 Frekvensanalyse av vannstandsdata

I år 2000 ble det utført flomfrekvensanalyser direkte på vannstander for Mjøsa. Perioden 1961 – 1999 ble lagt til grunn, og GEV-fordelingen ble benyttet. Årsaken til at denne perioden ble benyttet var at *«dette er perioden etter at de viktigste reguleringene fant sted»* (13). 200-års flomvannstand ble da beregnet til 126,64 moh.

Benyttes samme metodikk nå, men med data fra 1961-2020, reduseres beregnet 200-års flomvannstand med ca. 40 cm. 20-års flomvannstand blir lite endret (tabell 9 og figur 8). Det skyldes at det har vært moderate flomvannstander i Mjøsa de siste 20 åra, noe som gjør at frekvenskurven blir «flatere» enn tidligere.



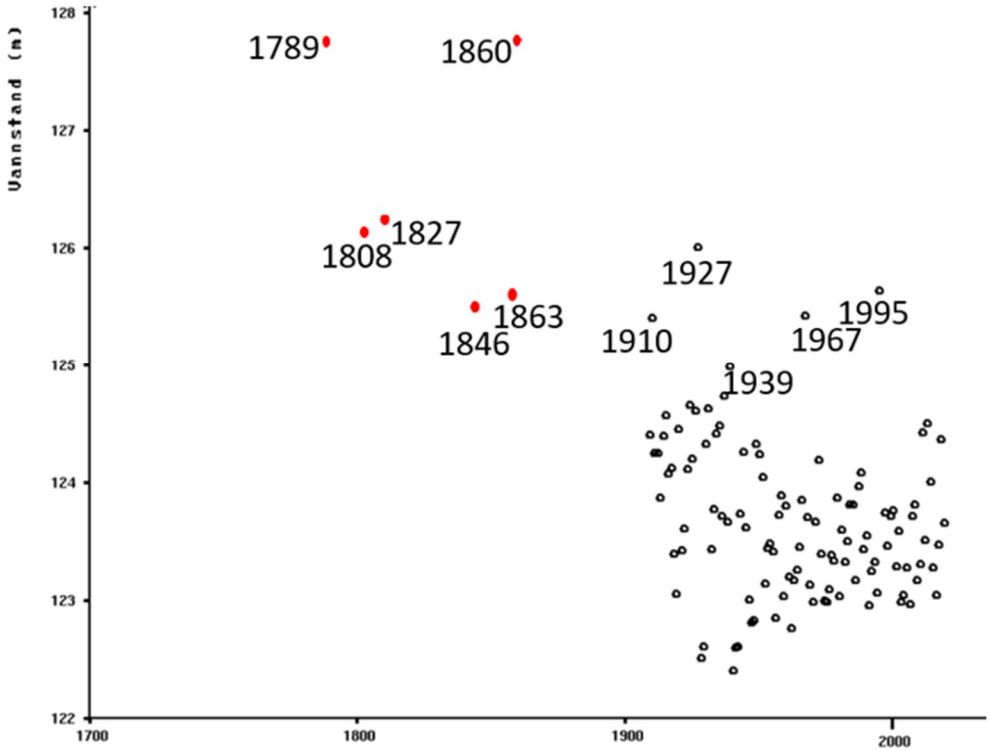
Figur 8. Frekvensanalyse av vannstandsdata fra Mjøsa for årene 1961-2020 (blå strek) og 1961-1999 (rød strek), Høyden er gitt i NN1954, for å få NN2000 må det legges til 21 cm). Forskjellen i 200-års flomvannstand er ca. 40 cm og i 500-års flomvannstand ca. 70 cm. De svarte og grønne prikkene viser flomvannstander i periodene 1961-99 og 1961-2020.

Ut fra beregninger utført av GLB, gjengitt i rapport fra Multiconsult (10), ble flomvannstandene i Mjøsa i 1995, 2013 og 2014 redusert med omkring 60 cm som følge av reguleringene.

Gitt at vassdraget hadde vært regulert i hele den 230 år lange perioden vi har vannstandsdata fra, og at dette hadde medført at også de historiske flomvannstandene i Mjøsa ble redusert med 20 - 40 cm, ville likevel seks flomvannstander ha vært høyere enn beregnet 100- års flomvannstand (125,73 moh., tabell 9). I tillegg er vannstanden fra flommen i 1967 og tre andre år også nesten på dette nivået. Et slikt resultat er urimelig sett i et lengre historisk perspektiv (figur 9).

Tabell 9. Flomvannstander i Mjøsa beregnet ved bruk av General Extreme Value-fordelingen basert på observerte vannstandsdata fra 1961-99 og 1961-2020.

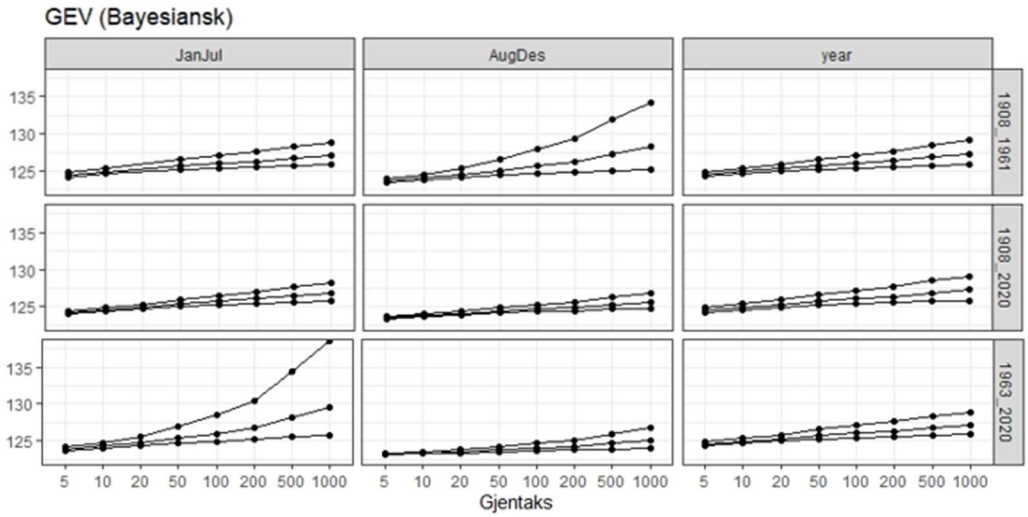
Gjentaksintervall	NVE 2000 (1961-99) moh.	Fr.an. vst. (1961-2020) moh.	Endring (cm)
Middel	123,53	123,75	+ 22
5 år	123,04	124,07	+3
10 år	124,40	124,41	+1
20 år	124,81	124,77	-4
50 år	125,43	125,29	-14
100 år	125,99	125,73	-26
200 år	126,64	126,22	-42
500 år	127,65	126,94	-71
1000 år	Ikke beregnet	127,55	-



Figur 9. Flomvannstander Mjøsa 1789 – 2020. (Høyden er gitt i NN1954, for å få NN2000 må det legges til 21 cm). Ifølge frekvensanalyse av vannstandsdata fra Mjøsa for perioden 1961-2020 er 100-års flomvannstand beregnet til ca. 125,5 moh. (NN1954). Det virker urimelig.

Vi har derfor gjennomført nye analyser av vannstandsdata fra Mjøsa for flere perioder og ved bruk av Gumbel og General Extreme Value (GEV) fordelingene koblet med bruk av både L-moment og bayesianske funksjoner. GEV-fordelingen er en familie av kontinuerlige sannsynlighetsfordelinger utviklet innenfor ekstremverditeori. Ekstremverditeori gir det statistiske rammeverket for å beregne sannsynligheten for svært sjeldne eller ekstreme hendelser. Gumbel brukes til å modellere fordelingen av maksimum (eller minimum) av et antall utvalg av forskjellige distribusjoner. Gumbel-distribusjon er en type-1 generalisert ekstremverdifordeling.

Innledningsvis ble periodene 1908- 2020, 1908- 961 og 1962 -2020 analysert. For disse årene ble det i tillegg til analyser på årsdata, utført analyser for vår (januar – juli) og høst (august – desember). Noen eksempler på resultater er vist i figur 10.



Figur 10. Beregnede flomvannstander i Mjøsa ved bruk av Gev-Bayesiansk frekvens-fordeling for sesongene januar – juli, august – desember og hele året og årene 1908-1961, 1908- 2020 og 1963-2020. Vannstander på y-aksen er gitt i NN1954, det må legges til 0,21 m for å få NN2000.

Det er utviklet et nytt verktøy i NVE de siste par årene hvor det er mulig å inkludere også historiske data i frekvensanalysene. Denne muligheten hadde vi ikke i år 2000. Det er i (2) anbefalt å utføre flomanalyser også ved å inkludere historiske data.

I og med at dette er et relativt nytt verktøy, og at det er liten erfaring også med analyse direkte på flomvannstander, har det vært en bred intern diskusjon i Hydrologisk avdeling i NVE om hvilke forutsetninger som bør legges til grunn i en slik analyse. Det ble enighet om å benytte årlige maksimalvannstander fra perioden 1961-dd, dvs. etter at de større reguleringene har funnet sted i vassdraget, men med tillegg av historiske data. For årene 1908 – 1960, hvor det fins daglige data, er det anbefalt å sette en terskel som gjør at en får med de 5 høyeste flomvannstandene. For de tidligere årene benyttes en terskel som gjør at en får med de 6 høyeste vannstandene tilbake til 1789. Dette gir terskler på henholdsvis

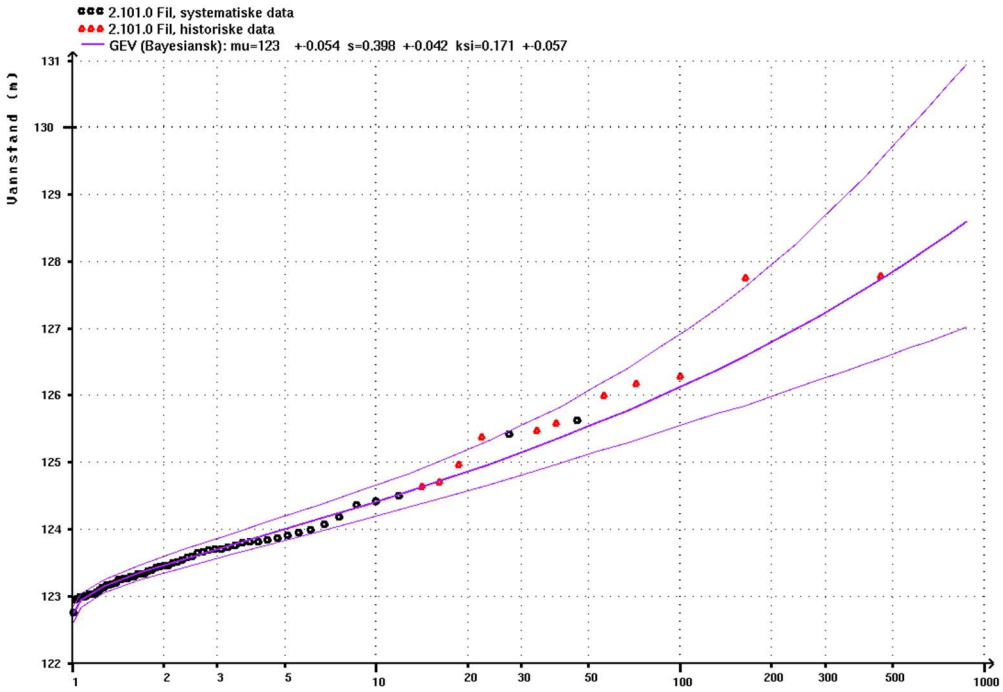
124,63 moh. (1908-1960) og 125,48 moh. (1789-1907). I (2) er det anbefalt å utvide terskelperioden med midlere tidsintervall mellom de historiske hendelsene. For Mjøsa betyr det at analyseperioden utvides til 1769 (6 hendelser i løpet av 1789 – 1907).

Som en test er det også gjort analyse med andre terskelnivåer, for eksempel en høy terskel (126,14 moh) for hele perioden 1789-1960. Dette terskelnivået er 30 cm over flomvannstanden i 1995. Det medfører at antall historiske flommer i analysematerialet reduseres fra 11 til 5. En høyere terskel medfører og at analyseperioden ble utvidet til 1755 (5 hendelser i løpet av 1789-1960). Resulterende flomvannstander endres imidlertid lite (< 10 cm) ved alle gjentaksintervall. Analysene ovenfor virker derfor robuste med hensyn til valg av terskelnivåer og hvor mange historiske flomvannstander som inkluderes i analysene.

Det er og testet hva det betyr om enkelte «outliers» utelates fra analysene. Utelates for eksempel den lave vannstanden i 1962, øker beregnet 200-års flomvannstand med i størrelsesorden 10 cm. Utelates 1789, som har den høyeste observerte vannstanden, reduseres 200-års flomvannstand med ca. 20 cm. Generelt er det anbefalt å ikke utelate observerte verdier, med mindre man mistenker feil i disse. I analysene er derfor både 1962 og 1789 inkludert (figur 11).

I avsnitt 5.2.1 er det lagt inn noen kommentarer knyttet til erfaringer fra NVEs flomvarslingstjeneste de siste årene som viser at med et stort snømagasin på våren og en uheldig værutvikling (mye regn), vil en kunne få flomvannstander i Mjøsa godt over nivåene fra 1995. En ny slik ekstremhendelse, vil ha relativt liten betydning på de beregnede flomstørrelsene, fordi vi nå har inkludert historisk informasjon i analysene, noe som gjør resultatene mer robuste.

Resultatet er gitt i tabell 10. Analysen gir en 200-årsflomvannstand på ca. 127,0 moh. Videre gir analysene et relativt bredt utfallsrom (95 % signifikans nivå) for beregna flomhøyder. For 20 års flomvannstand er variasjonen ca. +/- 30 cm, for 200 år ca. +/-1 m og for 1000 år ca. +/- 2 m.



Figur 11. Frekvensanalyse av vannstandsdata fra Mjøsa for årene 1961-2020 (svarte punkter) og historiske flomvannstander for årene 1789, 1808, 1827, 1846, 1860, 1863, 1910, 1924, 1927, 1937 og 1939 (røde punkter). Høyden er gitt i NN1954, for å få NN2000 må det legges til 21 cm. I analysene er det lagt inn to terskler på 125,48 m (NN1954) og 124,63 m (NN1954), som tilsier at det ikke har vært andre vannstander over dette nivået i årene 1789 – 1902.

Tabell 10. Frekvensanalyse av vannstandsdata fra Mjøsa for årene 1961-2020 med tillegg av historiske flomvannstander for årene 1789, 1808, 1827, 1846, 1860, 1863, 1910, 1924, 1927, 1937 og 1939. Det er benyttet GEV Bayesiansk frekvensfordeling, kun lokale data.

	Vannstand Mjøsa (Hamar) moh.	Utfallsrom
Middel	123,74	
H5	124,21	124,0 – 124,4
H10	124,63	124,4 – 124,9
H20	125,07	124,8 – 125,4
H50	125,74	125,3 – 126,3
H100	126,32	125,7 – 127,1
H200	126,98	126,1 – 128,0
H500	128,01	126,8 – 129,7
H1000	128,94	127,2 – 131,2

3.2.2 Frekvensanalyse av vannføringsdata

I Vorma ved Ertesekken er det registrert vannføring siden 1933. I tidligere flomberegning for flomsonekart ble perioden 1961-1999 benyttet, av samme grunn som for Mjøsa. Altså perioden etter at de viktigste reguleringene har funnet sted. Året 1996 ble utelatt fra analysene da det var spesielt liten flom dette året.

En ny analyse, med et datagrunnlag som er utvidet til 2020, men hvor fortsatt året 1996 er utelatt, antyder at middelflommen har økt samtidig som flommer med gjentaksintervall over 20 år har blitt mindre. For eksempel blir beregnet 200-årsflom blir nesten 150 m^3/s mindre (tabell 11). Det skyldes at det har vært en rekke flommer med vannføringer fra omkring 1000 – 1300 m^3/s de siste årene, men det har ikke vært noen riktig store flommer. Dette gjør frekvenskurven slakere.

Ut fra analysene av historiske data i kapittel 2.3, gir også resultatene fra Ertesekken basert på data fra perioden 1961-2020 urimelige resultater. Det tilsier at flommene i både 1860, 1910, 1927 og 1995 har gjentaksintervall på over 100 år, og 1860-flommen også godt over 1000 år.

Tabell 11. Flomvannføringer i Vorma ved Ertesekken ved bruk av General Extreme Value-fordelingen basert på observerte vannstandsdata fra 1961-99 og 1961-2020. Året 1996 er utelatt, fordi det da var svært liten flom.

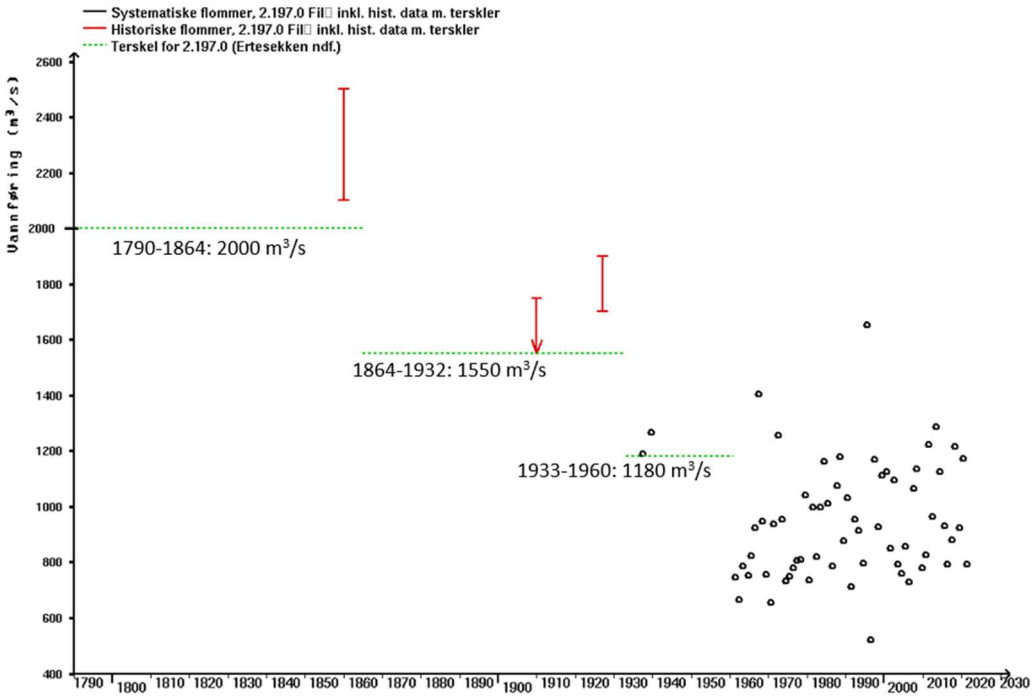
Gjentaksintervall	GEV: 1961-2020 m^3/s	NVE 2000 GEV: 1961-1999 m^3/s	Endring m^3/s
Middel	947	931	+ 16
5 år	1091	1067	+ 24
10 år	1213	1203	+ 10
20 år	1332	1343	-11
50 år	1490	1542	-52
100 år	1611	1705	-94
200 år	1734	1881	-147
500 år	1899	2134	-235
1000 år	2026	ikke beregnet	

Det er derfor også gjennomført analyser av data fra Ertesekken med tillegg av historiske flomvannføringer slik nye anbefalinger tilsier (2). Flommene i 1860, 1910 og 1927 er lagt inn med en beregnet vannføring og et øvre og nedre estimat. Følgende verdier er benyttet 1860; 2300 m^3/s (2100 – 2500 m^3/s), 1910; 1650 m^3/s (1550 – 1750 m^3/s) og 1927; 1800 m^3/s (1700 – 1900 m^3/s). I tillegg er de største flomvannføringene i perioden med systematiske data før 1961 tatt inn i analysene, slik det også ble gjort ved analyse av vannstandsdata. For vannføring betyr det at årene 1937 og 1939 inkluderes i analysene. Også året 1996 er inkludert, selv om flomvannføringen dette året var svært lav, representerer den en reel observert verdi (figur 12).

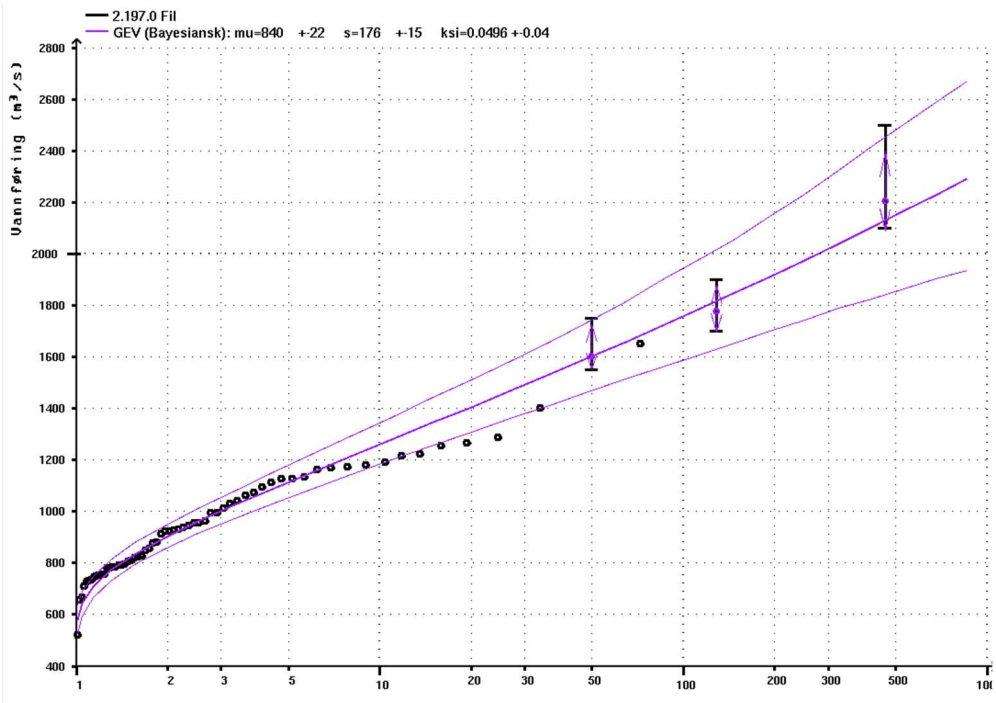
For å kunne bruke historisk informasjon i ekstremverdianalyser, må vi kjenne til alle flommer som overskriver en høy terskel over en gitt periode (2). Det er derfor lagt inn tre

terskler; 2000 m^3/s for årene 1790 – 1864, 1550 m^3/s for 1865 – 1932 og 1180 m^3/s for 1933-1960. Ifølge vårt tilgjengelige datamateriale har det ikke vært andre flommer større enn terskelnivåene i løpet av disser 170 årene.

Dette betyr at vi benytter drøyt 60 år med systematiske data (1961 – 2021) fra Ertesekken/ Vorma, i tillegg til 170 år med historisk informasjon (1790-1960). Det betyr at analysegrunnlaget for å bestemme flomvannføringer i Vorma er godt. I figur 13 og tabell 12 er resultatet ved bruk av GEV-fordelingen vist.



Figur 12. Observerte flomvannføringer i Vorma ved Ertesekken 1860 – 2020. Flomvannføringen i 1860, 1910 og 1927 er antatt å ha vært ca. 2300, 1650 og 1850 m^3/s. Ifølge frekvensanalyse av vannføringsdata for Ertesekken for perioden 1961-2020 er 100-års flom beregnet til ca. 1600 m^3/s. Det virker urimelig.



Figur 13. Frekvensanalyse av flomvannføringer ved Ertesekken fra 1961-2021 med tillegg av historiske flomvannføringer for årene 1860, 1910, 1927, 1937 og 1939.

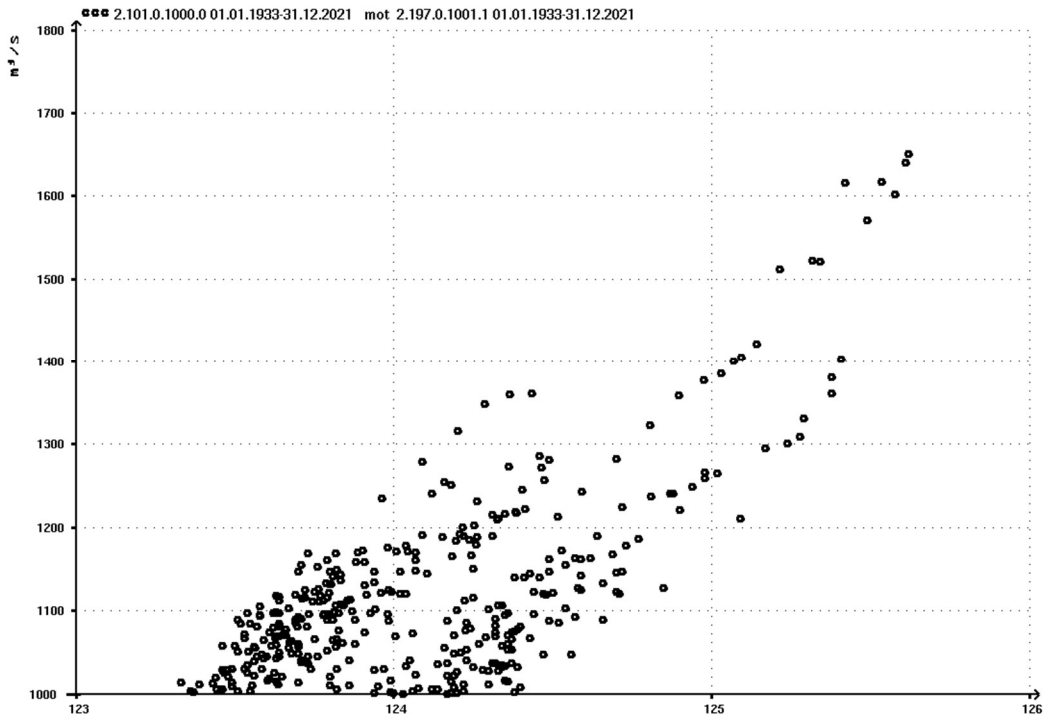
Tabell 12. Frekvensanalyse av observerte vannføringsdata for målestasjonen 2.197 Ertesekken fra 1961 – 2021 med tillegg av historiske flomvannføringer for årene 1860, 1910, 1927, 1937 og 1939. Det er benyttet GEV Bayesiansk frekvensfordeling, kun lokale data.

	Frekvensanalyse Ertesekken 1961-dd + 5 historiske år	Utfallsrom	NVE 2000 GEV: 1961-1999 m^3/s	Endring m^3/s
Middel	940		920	+20
Q5	1120	Ca. 1050-1200	1067	+53
Q10	1260	Ca. 1200-1350	1203	+57
Q20	1410	Ca. 1300-1500	1343	+67
Q50	1610	Ca. 1450-1750	1542	+68
Q100	1760	Ca. 1600-1950	1705	+55
Q200	1930	Ca. 1700-2200	1881	+49
Q500	2160	Ca. 1850-2500	2134	+26
Q1000	2350	Ca. 1950-2800	2342	+8

I forhold til beregningene i år 2000 gir dette en økning på ca. 3 % eller omkring 50 m^3/s for 200-årsflom (tabell 12). For sjeldnere flommer er forskjellen mindre, mens for de hyppigere flommene er det en noe større prosentvis økning. Kombinasjonen av datautvalg og metodikk brukt i beregningene i NVEs flomberegning fra 2000, ga altså et resultat nokså nær det vi får fra frekvensanalyse basert på dagens anbefalinger for valg av datagrunnlag og metode.

I disse analysene er starten av den første terskelperioden satt til 1790, året etter Storofsen. I 1789 var vannstanden noe få cm høyere i Mjøsa enn i 1860. For 1789-flommen kjenner vi ikke vannføring andre steder i vassdraget (Glomma, Lågen mm). Det er derfor vanskelig å gi et godt estimat på vannføringen i Vorma under denne hendelsen. Hvis en likevel utvider datagrunnlaget, og dermed også forlenger terskelperioden til 1720, med en antagelse om at det i 1789 var en vannføring i Vorma av samme størrelsesorden som i 1860, dvs. mellom 2100 og 2500 m^3/s, øker de beregnede flomstørrelsene med 2 – 3 %. Det vil si at analysen ikke er svært følsom for om 1789 inkluderes eller ikke.

Det er likevel ingen enkel oppgave å konvertere dette til vannstand i Mjøsa, da vannføringen i Vorma avhenger både av vannstanden i Mjøsa, men også vannstand/ vannføring i Glomma og manøvrering av lukene ved Svanfoss. I figur 14 er dette illustrert ved at det for samme vannføring i Vorma er observert en rekke ulike vannstander i Mjøsa.



Figur 14. Observerte vannføringer over 1000 m^3/s i Vorma ved Ertesekken (y-akse) og samtidige vannstander i Mjøsa ved Hamar 1933-2021 (x-akse). Vannstandene er gitt i høydesystemet NN1954, legg til 21 cm for å få NN2000.

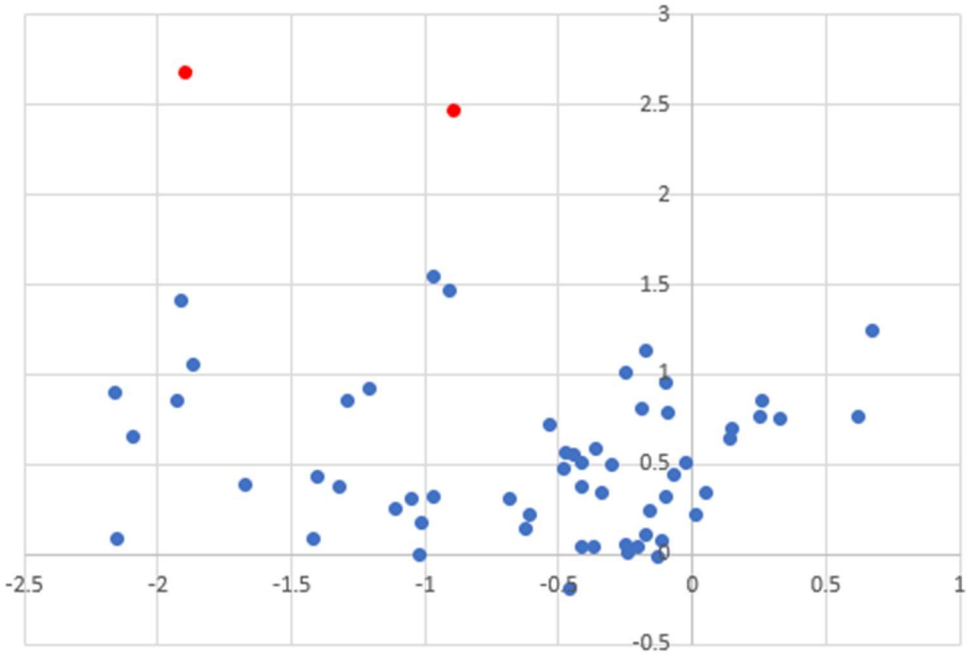
3.3 Beregning av tilsig, ruting av flomforløp

3.3.1 Initialvannstand i Mjøsa og i høyfjellsmagasin ved ruting av flomforløp

Ved beregning av dimensjonerende flom (500-årsflom) for damsikkerhet, forutsettes vanligvis alle magasin i vassdraget å ligge på HRV ved flommens start. I Norconsults flomberegningsrapport for Svanfoss (11), er det lagt ved en detaljert redegjørelse/ søknad (NVE 201706139-9) som forklarer bakgrunnen for at det her er gitt tillatelse til å regne med noe ledig magasinkapasitet. I sum er det antatt en ledig kapasitet på ca. 380 mill m^3 ved starten av flomforløpet. Det tilsvarer en fyllingsgrad for magasinene oppstrøms Mjøsa (eksklusive Mjøsa) på ca. 60 %.

Det er videre i beregningene for damsikkerhet lagt til grunn at Mjøsa ligger på HRV ved flommens start, som ut fra valgt flomforløp er 16 dager før vannstanden i Mjøsa kulminerer. Beregnet 500-års tilløpsflom til Mjøsa, i løpet av 16 døgn, er i Norconsults beregninger ca. 4000 mill m^3. Til sammenligning er sum tilsig til Mjøsa under 1995-flommen beregnet til ca. 3000 mill m^3, eller et volum som tilsvarer ca. 75 % av beregnet 500-årsflom. Dette virker rimelig.

En analyse av vannstandsdata fra Mjøsa for de siste 60 år viser at 16 dager før kulminasjon har vannstanden variert fra omkring 2,2 m under HRV til 0,7 m over HRV. Som regel (i 33 av 60 år) har vannstanden vært innafor HRV ± 0,5 m. Ved flommene i 1967 og 1995 var vannstanden i Mjøsa henholdsvis ca. 0,9 og 1,9 m under HRV 16 dager før kulminasjon (figur 15).



Figur 15. Vannstand Mjøsa relativ til HRV 16 dager før kulminasjon (-x-aksen) og kulminasjonsvannstand (y-aksen) for årene 1961-2020. Årene 1995 og 1967 er markert med rødt. På begge aksene er enheten meter.

Ved beregning av 500-årsflom, er det som nevnt ovenfor forutsatt at Mjøsa ligger på HRV ved flommens start. Det synes rimelig å legge dette til grunn også ved beregning av Q1000.

Årene 1967 og 1995 er de som har gitt høyest vannstand i Mjøsa siste 60 år. Begge disse årene var det kjølig i mai, slik at snøsmeltingen kom seint i gang, dette bidro til at vannstanden disse årene var relativt lav før vårflommen kom i gang. Det er derfor ikke urimelig å vurdere noe lavere initialvannstand enn HRV ved beregning av for eksempel 200- og 100-årsflom. Det er i kapittel 3.3.3 og 3.3.4 gjort beregninger med startvanstander i Mjøsa fra HRV til 2,0 m under HRV. En vannstand i Mjøsa på 0,5 m under HRV tilsvarer et «ledig» lagringsvolum på ca. 180 mill m^3 og 2 m under HRV ca. 730 mill m^3.

3.3.2 Flomberegning for damsikkerhet, 500-årsflom

Det er utført flomberegninger for damsikkerhet for Svanfoss/ Mjøsa i 2021. Beregningene er utført av Norconsult på oppdrag fra Hafslund E-CO Vannkraft AS som er dameier. HRV i Mjøsa er 123,15 moh. For Svanfoss er dimensjonerende flom etter damforskriften en 500-årsflom.

Det er i disse beregningene forutsatt åpne luker under hele flomforløpet. Dette er noe gunstigere enn gitt i manøvreringsreglementet (se vedlegg). NVE har i brev datert 05.11.2021 til dameier og Norconsult (NVE-dok. 201706139-19) bedt om at det gjøres noen tilleggsberegninger for å avklare virkningen av manøvreringsreglementet på beregnede flomhøyder. Beregningene, hvor lukene er forutsatt åpne under hele flomforløpet, gir en 500-års flomvannstand på 127,77 moh. i Mjøsa. 500-års avløpsflom er beregnet til 2366 m^3/s. Nye beregninger kan gi noe endring av disse verdiene.

Beregningene er basert på:

- Frekvensanalyse av en tilsigsserie til Mjøsa fra 1970 – dd for bestemmelse av 500-års tilsigsflom. General Extreme Value-fordelingen ble benyttet ved beregning av de ulike flomstørrelsene.
- Beregnet tilsigsflom med varighet på ca. 4 uker er routet gjennom oppstrøms magasin,
    - Det er gitt tillatelse til å regne med vannstand under HRV i enkelte høyfjellsmagasin ved flommens start. I sum har magasinene oppstrøms Mjøsa en fyllingsgrad på ca. 60 % ved flommens start. Dette reduserer beregnet flomvannstand i Mjøsa/ ved Svanfoss med nesten 30 cm.
    - Mjøsa er forutsatt å ligge på HRV ved flommens start
    - Det er forutsatt vannføring i Glomma som under flommen i 1995, dvs. omkring 100-årsflom i Glomma, men med kulminasjon en drøy uke før Mjøsa kulminerer.
        - Lukene i Svanfoss er forutsatt åpne under hele flomforløpet

- Det er benyttet en hydraulisk modell for strekningen Mjøsa – Rånåsfoss, dvs. at Svanfoss og virkningen av vannstand/ vannføring i Glomma ved samløp Vorma er inkludert i modellen. Modellen er kalibrert mot observerte vannstander/ vannføringer under flommen i 1995.

Disse beregningene gir en mer komplett gjengivelse av det totale systemet Mjøsa, Vorma, Glomma som vannstanden i Mjøsa er avhengig av, enn analyse kun på vannstandsdata. Det er imidlertid betydelig usikkerhet knyttet også til slike analyser, dette gjelder både ved konstruksjon og frekvensanalyse av tilsigsserie for Mjøsa, valg av flomforløp, samtidig vannføring i Glomma, initialbetingelser knyttet til de ulike magasinene og modellusikkerhet knyttet til den hydrauliske beskrivelsen av vassdraget.

.

3.3.3 Beregning av 20-årsflom m.fl., Norconsult

I tillegg til 500-årsflom, som Norconsult har beregnet på oppdrag for dameier, har de beregnet 20-, 200- og 1000-års flom med samme hydrauliske modell og metodikk som for damsikkerhet på oppdrag for NVE (12). Disse beregningene er utført med følgende forutsetninger:

Initialvannstand Mjøsa
- HRV
- HRV – 2,0 m (dvs. omtrent som observert under 1995-flommen)

Lukemanøvrering
- Åpne luker gjennom hele flomforløpet.
- Lukene åpnes som angitt i punkt 3 i manøvreringsreglement.

Dette tilsvarer alternativene «Å» og «R3» i avsnitt 3.3.4.

Vannføring i Glomma
- For Q1000 og Q200 benyttes samme vannføring som for Q500, dvs. vannføring som observert fra flommen i 1995. Dvs. at det er forutsatt ca. 100-årsflom i Glomma, men med kulminasjon en drøy uke før Mjøsa kulminerer.
- For beregning av 20-årsflom i Mjøsa/ Vorma benyttes Glommavannføringen fra 1995 skalert med 0,8 som tilsvarer ca. 20-årsflom i Glomma, men med kulminasjon en drøy uke før Mjøsa kulminerer.

Beregningene til Norconsult ga følgende resultat (tabell 13).

Tabell 13. Kulminasjonsvannstander Mjøsa, gitt ulike initialvannstander i Mjøsa og helt åpne luker ved Svanfoss under hele flomforløpet eller lukemanøvrering som gitt i punkt 3 i manøvreringsreglementet..

	Q20	Q20	Q200	Q200	Q1000	Q1000
	Åpne luker	R3	Åpne luker	R3	Åpne luker	R3
Initialvannstand	moh.		moh.		moh.	
HRV	125,76	126,04	127,22	127,53	128,14	128,45
HRV-2,0 m	125,18	x	126,70	x	x	x
Vannføring	m^3/s		m^3/s		m^3/s	
HRV	1660	x	2150	x	2490	x
HRV-2,0 m	1460	x	1970	x	x	x

3.3.4 Beregning av 20-årsflom m.fl., NVE

Norconsult har oversendt forløpene for tilløpsflommer til Mjøsa og samtidig vannføring i Glomma, som de har benyttet i sine beregninger, til NVE. Tilsigsseriene er kontrollert og godkjent av NVE i forbindelse med gjennomgang av flomberegningene for damsikkerhet. Disse har vi deretter lagt inn i NVEs hydrauliske modell for Mjøsa/ Vorma/ Glomma. Den modellen benyttes operativt i NVEs flomvarslingstjeneste. Det ble gjort for å få simuleringer med flere alternative initialbetingelser, og for å vurdere om NVEs og Norconsults hydrauliske modeller ga omtrent samme resultater. Vi har utført beregninger av avløpsflom og vannstand i Mjøsa med følgende betingelser:

Tilløpsflommer til Mjøsa med:

- gjentaksintervall på 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år.

Initialvannstand Mjøsa

- HRV
- HRV – 0,5 m
- HRV – 1,0 m
- HRV – 1,5 m
- HRV – 2,0 m (dvs. omtrent som observert under 1995-flommen)

Lukene i Svanfoss er forutsatt manøvrert med tre alternativer:

- «Å» - alle fire lukene er forutsatt åpne under hele flomforløpet
- «M», «mellomstilling», dvs. luke II og IV står helt åpne under hele flomforløpet. Luke III åpnes (senkes) gradvis fra vannstanden ved innløpet til slusekanalen ved Svanfoss når 123,04 moh. til 124,79 moh., over dette nivået er også luke III helt åpen. Ved ytterligere stigning åpnes luke I gradvis til den er helt åpen.
- «R3» lukene åpnes som angitt i punkt 3 i manøvreringsreglement. Det vil si som «M», men luke I åpnes ikke mer enn inntil 67 cm ved en vannstand ved innløp til slusekanalen på 125,29 moh. Over dette nivået holdes lukeåpningen uendret. Det betyr at luke I, i henhold til reglementet, ikke åpnes helt under flom. Dette er av hensyn til flomsituasjonen i Øyeren. Det kan søkes om avvik fra dette.

Det er imidlertid et punkt 11 i manøvreringsreglementet (se vedlegg), som åpner for en annen manøvrering enn strengt å følge punkt 3. I praksis vil det derfor sannsynligvis ved stor flom manøvreres på en måte som ligger mellom alternativ «Å» og «R3». Dette var også situasjonen i 1995.

Vannføring i Glomma

- For Q1000, Q500 og Q200 benyttes samme vannføring som Norconsult har benyttet ved beregning av dimensjonerende flom (Q500), dvs. vannføring som observert under 1995-flommen. Det betyr at det er forutsatt ca. 100-årsflom i Glomma, men med kulminasjon en drøy uke før Mjøsa kulminerer.
- For beregning av 20- og 50-årsflom i Mjøsa/ Vorma benyttes Glommavannføringen fra 1995 skalert med henholdsvis 0,8 og 0,9. Det tilsvarer omtrent en 20- og 50-årsflom i Glomma, men med kulminasjon en drøy uke før Mjøsa kulminerer.

Tilløp Mjøsa og samtidig vannføring i Glomma er illustrert i figur 16. Beregningene er oppsummert i tabell 14 og 15 og figur 17 og 18.

Det er relativt godt samsvar mellom beregningene til Norconsult og NVE. For eksempel er det kun en forskjell på ca. 10 cm i beregna 200-års flomvannstand for Mjøsa gitt åpne luker gjennom hele flomforløpet. I R3-alternativet er imidlertid forskjellene større, med en differanse på 25 cm for 200-årsflom og 45 cm for 1000-årsflom. NVEs modell gir de høyeste vannstandene.

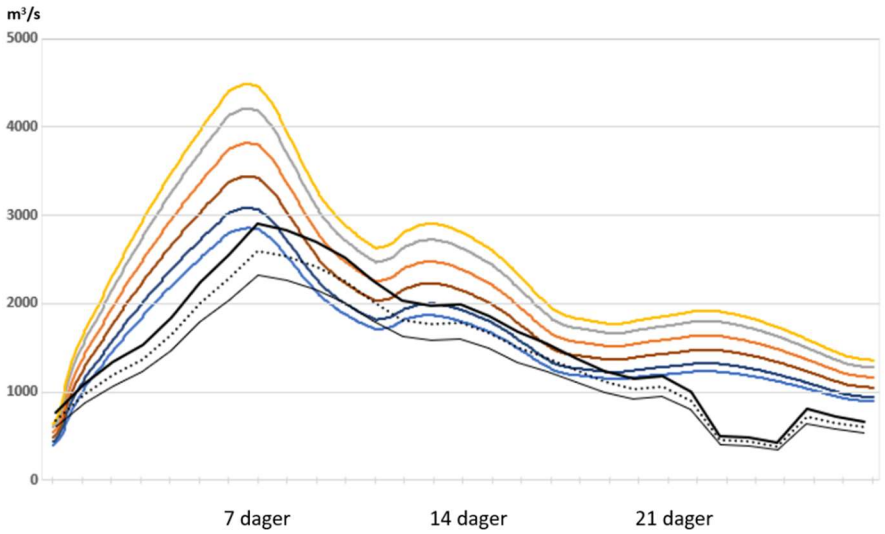
Begge modellene er grundig gjennomgått og vurdert, det er noen mindre forskjeller i ruhetsparametere og det er og en forskjell på hvordan Mjøs-bassenget modelleres. I Norconsults modell er det antatt lik vannstand fra Minnesund til Lillehammer. I NVEs modell er Mjøsa modellert dynamisk med en vannstand som gir noe lavere vannstand ved Minnesund enn ved Hamar og Lillehammer. Fra Minnesund til Svanfoss er modellene like. Også manøvreringen av lukene på Svanfoss er like i de to modellene. Konklusjonen fra vår gjennomgang er at den ene modellen ikke er bedre enn den andre. Vi anser begge å være utført faglig riktig, men ulikhetene i dem gjør at også resultatene blir noe ulike.

I begge modelloppsettene (gitt åpne luker) øker 200-års flomvannstand til drøyt 4 m over HRV gitt en initialvannstand på HRV og til ca. 3,5 m over HRV med en initialvannstand som er 2,0 m under HRV. For beregnet 1000-årsflomvannstand, som er ca. 5 m over HRV, er det en forskjell på i underkant av 20 cm (åpne luker) mellom de to modelloppsettene.

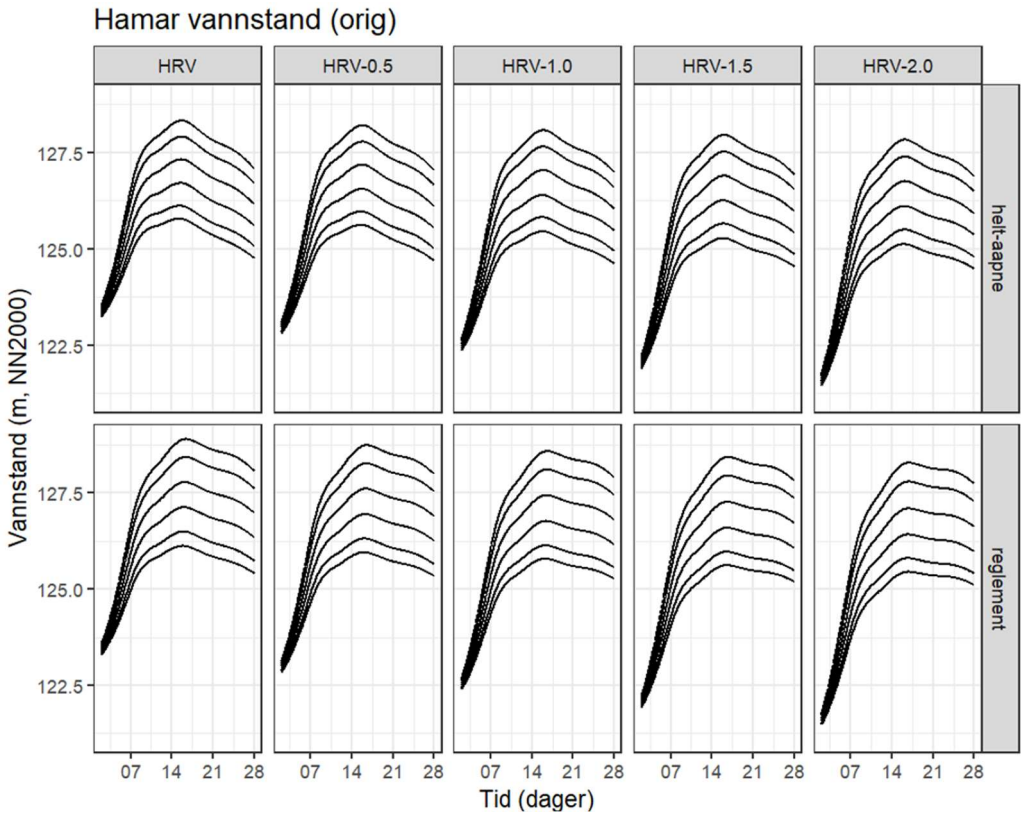
Videre viser NVEs beregninger at kulminasjonsvannstandene blir ca. 35 - 60 cm høyere ved å legge lukemanøvrering i henhold til manøvreringsreglementets punkt 3 til grunn («R3») kontra åpne luker («Å») under hele flomforløpet. Samtidig vil dette føre til at kulminasjonsvannføringene blir ca. 140 - 250 m^3/s mindre enn om lukene forutsettes fullt åpne. Forskjellene er størst for flommene med høyest gjentaksintervall.

Og for hver halvmeter initialvannstanden i Mjøsa reduseres, reduseres kulminasjons-vannstanden i Mjøsa med ca. 15 cm. Reduksjonen er noe større for «små» flommer (Q20, 16 – 17 cm) enn for de største flommene (Q1000, 12 – 14 cm). En reduksjon av initial-vannstanden i Mjøsa, fører naturlig nok også til noe reduksjon i maksimal avløpsflom. Avløpsflommen reduseres med i størrelsesorden 40 – 50 m^3/s/ pr halvmeter redusert initialvannstand i Mjøsa.

Av figur 18 ser en og at med det valgte flomforløpet, er avløpskapasiteten ut av Mjøsa større på synkende vannstand/ vannføring enn på stigende. For eksempel viser grafen for 100-års flom og åpne luker at vannføringen i Vorma er ca. 1500 m^3/s ved vannstand 126,0 i Mjøsa på stigende vannstand, mens den er ca. 1800 m^3/s på synkende vannstand. Vanligvis er det annerledes, at kapasiteten på synkende vannføring er mindre enn på stigende på grunn av hystereseeffekt (høyere undervann ved synkende vannføring). Men her påvirkes forholdene også av vannføringen i Glomma, og den er vesentlig høyere når vannstanden i Mjøsa er på stigende enn på synkende (jmf. også figur 16).



Figur 16. Tilløp Mjøsa ved Q1000 (gul), Q500 (grå), Q200 (oransje), Q100 (brun), Q50 (rød) og Q20 (blå) og samtidig vannføring i Glomma oppstrøms samløp Vorma, fet svart ved Q100 – Q1000, svart stiplet ved Q50 og tynn svart ved Q20. Vannstanden i Mjøsa kulminerer omkring 16 dager ut i flomforløpet.



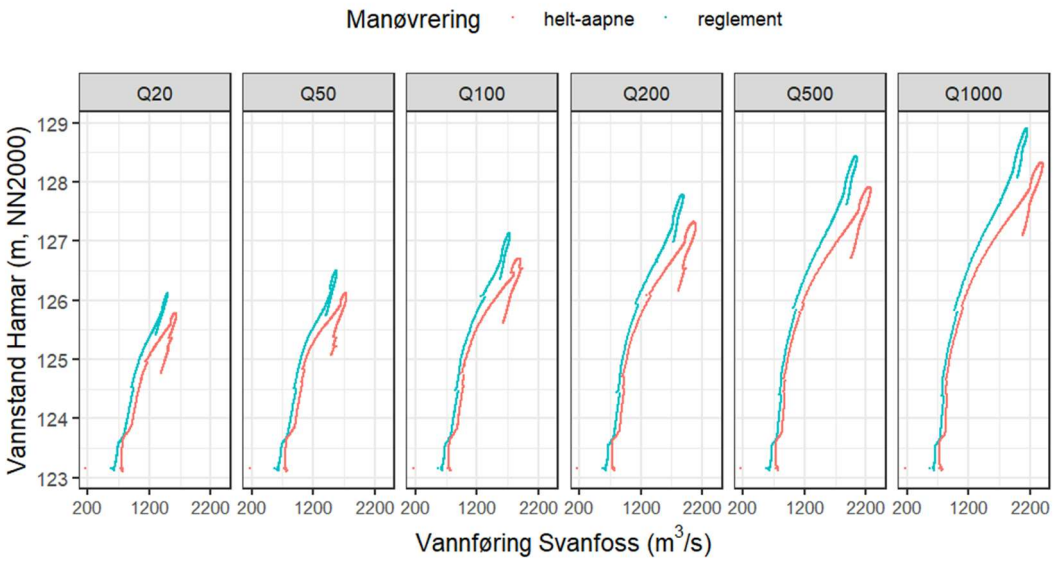
Figur 17. Beregnede flomvannstander i Mjøsa ved 20-, 50-, 100-, 200-, 500- og 1000-års flomtilsig og varierende initialvannstand i Mjøsa. Øverste rad viser resultater gitt åpne luker («Å») under hele flomforløpet og nederste rad lukemanøvrering som gitt i reglements punkt 3 («R3»).

Tabell 14. Kulminasjonsvannstander Mjøsa, gitt ulike initialvannstander i Mjøsa og helt åpne luker («Å») ved Svanfoss under hele flomforløpet, gradvis åpning av alle luker («M») eller lukemanøvrering som gitt i reglementets punkt 3 («R3»).

	Q20	Q20	Q20	Q50	Q50	Q50	Q100	Q100	Q100
	Å	M	R3	Å	M	R3	Å	M	R3
	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.
HRV	125.78	126.12	126.12	126.11	126.47	126.49	126.71	127.06	127.13
HRV-0,5m	125.62	125.95	125.95	125.97	126.30	126.31	126.55	126.90	126.95
HRV-1,0m	125.45	125.79	125.79	125.82	126.13	126.14	126.39	126.73	126.77
HRV-1,5m	125.27	125.62	125.62	125.65	125.97	125.97	126.25	126.57	126.59
HRV-2,0m	125.12	125.45	125.45	125.50	125.80	125.80	126.11	126.41	126.42
	Q200	Q200	Q200	Q500	Q500	Q500	Q1000	Q1000	Q1000
	Å	M	R3	Å	M	R3	Å	M	R3
	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.	moh.
HRV	127.32	127.66	127.78	127.91	128.26	128.43	128.33	128.67	128.90
HRV-0,5m	127.18	127.51	127.61	127.78	128.11	128.27	128.20	128.54	128.74
HRV-1,0m	127.04	127.36	127.44	127.65	127.97	128.11	128.08	128.40	128.58
HRV-1,5m	126.90	127.20	127.27	127.52	127.83	127.95	127.96	128.27	128.43
HRV-2,0m	126.76	127.05	127.10	127.39	127.69	127.79	127.83	128.14	128.28

Tabell 15. Kulminasjonsvannføringer Vorma ved Svanfoss, gitt ulike initialvannstander i Mjøsa og helt åpne luker («Å») ved Svanfoss under hele flomforløpet, gradvis åpning av alle luker («M) eller lukemanøvrering som gitt i reglements punkt 3 («R3»).

	Q20	Q20	Q20	Q50	Q50	Q50	Q100	Q100	Q100
	Å	M	R3	Å	M	R3	Å	M	R3
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
HRV	1637	1509	1502	1745	1607	1588	1942	1783	1738
HRV-0,5m	1597	1457	1457	1698	1557	1544	1906	1733	1694
HRV- 1,0m	1573	1412	1412	1651	1513	1505	1838	1683	1651
HRV-1,5m	1526	1358	1358	1598	1461	1461	1791	1635	1609
HRV-2,0m	1476	1302	1302	1584	1416	1416	1743	1585	1567
	Q200	Q200	Q200	Q500	Q500	Q500	Q1000	Q1000	Q1000
	Å	M	R3	Å	M	R3	Å	M	R3
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
HRV	2101	1972	1895	2275	2153	2052	2407	2293	2158
HRV-0,5m	2057	1924	1854	2235	2110	2013	2366	2248	2120
HRV- 1,0m	2013	1875	1811	2193	2067	1974	2327	2201	2084
HRV-1,5m	1967	1826	1769	2156	2022	1935	2288	2155	2049
HRV-2,0m	1948	1776	1727	2118	1978	1896	2252	2112	2013



Figur 18. Beregnet flomvannstand Mjøsa (y-akse) mot flomvannføring Svanfoss (x-akse) for 20 – 1000-års tilløpsflom og initialvannstand i Mjøsa på HRV. Røde kurver viser resultater med åpne luker («Å») og blå kurver lukemanøvrering som gitt i reglements punkt 3 («R3»).

4 Endelig valg av flomverdier

For arealplanlegging skal 20-, 200- og 1000-årsflomvannstand bestemmes.

Beregningene med ruting-modellene gir 20-års flomvannstander som varierer fra 125,1 – 126,1 moh. i NVEs modell og 125,2 – 125,8 moh. i Norconsults modell. Resultatene varierer med startvannstand i Mjøsa og manøvreringen av lukene i Svanfoss. Det er da forutsatt samme magasinfylling i høyfjellsmagasinene som for beregning av 500-årsflom. Dette er noe strengt for beregning av 20-årsflom, da magasinene ofte har noe lavere fyllingsgrad på våren enn forutsatt i denne beregningen.

Analyse av vannstandsdata fra Mjøsa, med tillegg av historisk informasjon, gir en beregnet 20-års flomvannstand på ca. 125,1 moh., men med et variasjonsrom fra omkring 124,8 til 125,4 moh. Sammenlignet med observasjoner fra de siste 60 år er det kun vannstandene i 1967 og 1995 som er høyere enn 125,1 moh. Analysene basert på siste 60 år med data, harmonerer godt med nedre nivå for analysene hvor også de historiske dataene er inkludert. Det er derfor valgt å legge siste 60 års vannstandsdata til grunn for beregning av for gjentaksintervall opp til 50 år. For sjeldnere flommer antas at vassdraget i større grad nærmer seg uregulert, og for sjeldnere flommer benyttes derfor estimater hvor de historiske vannstandsdataene også er inkludert.

200-års flomvannstand er ved ruting beregnet til å ligge i intervallet 126,8 – 127,8 moh i NVEs modell og 126,7 – 127,5 moh i Norconsults modell avhengig av startvannstand i Mjøsa og lukemanøvrering ved Svanfoss.

Analyse av vannstandsdata, gir en beregnet 200-års flomvannstand på ca. 127,0 moh. Dette synes som et rimelig anslag også ut fra de utførte rutingene, For NVEs rutingmodell tilsvarer dette en vannstand som harmonerer med beregnet 200-års flomvannstand og en startvannstand i Mjøsa på 1 m under HRV og åpne luker under hele flomforløpet, eller en startvannstand på 2 m under HRV og manøvrering etter punkt 3 i manøvreringsreglementet. Vannstanden er 1 m lavere enn observert i 1860 og 1789.

For beregning av 1000-års flomvannstand ved hjelp av ruting-modellene er det rimelig å legge samme krav til startvannstand i Mjøsa, dvs. HRV, som for beregning av 500-års flom for damsikkerhet ved Svanfoss. Her gir NVEs modell en 1000-års flomvannstand på 128,3 – 128,9 moh., mens Norconsults modell gir 128,1 – 128,5 moh.

Analyse av vannstandsdata, gir en beregnet 1000-års flomvannstand på ca. 128,9 moh. Dette er i øvre sjikt av det rutingberegningene gir, men sett i lys av at det i både 1789 og 1860 er observert vannstander på ca. 128,0 moh. i Mjøsa, virker det likevel rimelig å anta at en 1000-års flomvannstand ligger vesentlig høyere enn dette.

Det er viktig også huske at beregningene basert på observerte flomvannstander i Mjøsa har en statistisk usikkerhet. For 20-, 200- og 1000-års flomvannstand er 95 % konfidensintervall beregnet til henholdsvis +/- ca. 0,3 m, 1 m og 2 m.

For flomvannføringer er det valgt å legge til grunn analysene basert på frekvensanalyse av de observerte vannføringene siden 1961 med tillegg av 5 historiske flomvannføringer.

20-årsflom blir da 1410 m^3/s, mens ruting utført av NVE gir en 20-årsflom som varierer mellom ca. 1300 og 1640 m^3/s, og Norconsult mellom ca. 1460 og 1660 m^3/s.

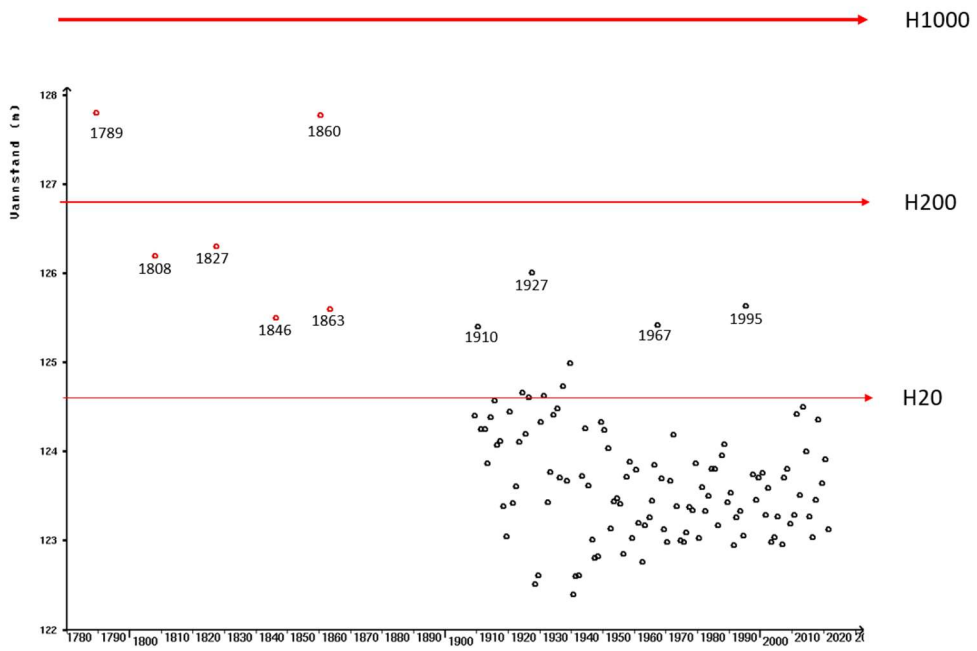
200-årsflom blir da 1930 m^3/s, mens 200-årsflom beregnet i NVEs hydrauliske modell varierer mellom ca. 1730 og 2100 m^3/s, og i Norconsults modell fra omkring 1970 – 2150 m^3/s (ikke like mange alternative resultater som fra NVE simuleringer).

Frekvensanalysene gir videre en 1000-årsflom på 2350 m^3/s. Igjen harmonerer resultatene rimelig godt med de en får fra rutingberegningene. NVEs modell gir en variasjon fra ca. 2160 m^3/s til ca. 2410 m^3/s, gitt startvannstand i Mjøsa på HRV og ulike lukemanøvreringer. Ved bruk av åpne luker under hele flomforløpet gir Norconsults beregninger en noe høyere flomvannføring med ca. 2490 m^3/s.

Resultatene fra beregningene er oppsummert i tabell 16 og figur 19.

Tabell 16. Resulterende flomverdier for Mjøsa ved Hamar og Vorma ved Svanfoss/ Ertesekken.

Beregningspunkt	**H_M**	**H_5**	**H_{10}**	**H_{20}**	**H_{50}**	**H_{100}**	**H_{200}**	**H_{1000}**
Mjøsa v. Hamar (moh.)	123,74	124,1	124,4	124,8	125,7	126,3	127,0	128,9
	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_{1000}** m^3/s
Vorma ved Svanfoss	940	1120	1260	1410	1610	1760	1930	2350



Figur 19. Observerte flomvannstander i Mjøsa 1789 – 2021, sammen med beregnede flomvannstander. Vannstand på y-aksen er gitt i NN1954, for å få NN2000 legg til 21 cm.

5 Vurdering av flomverdier

5.1 Sammenligning mot tidligere flomberegning

Denne flomberegningen gir flomvannstander som er ca. 40 cm høyere i Mjøsa for en 200-årsflom enn det NVEs beregninger i 2000 ga (tabell 17). For lavere gjentaksintervall er forskjellen mindre. For beregnede flomvannføringer i Vorma er forskjellen liten (tabell 18).

Tabell 17. Endring av flomvannstander basert på flomberegninger for Mjøsa ved Hamar i år 2000 og 2021.

	H_M moh.	H_5 moh.	H_{10} moh.	H_{20} moh.	H_{50} moh.	H_{100} moh.	H_{200}/ moh.	H_{1000} moh.
Mjøsa, 2021	123,74	124,1	124,4	124,8	125,7	126,3	127,0	128,9
Mjøsa, 2000	123,53	124,04	124,40	124,81	125,43	125,99	126,64	ikke beregnet
Endring (m)	+ 0,21	+0,1	0,0	0,0	+0,3	+0,3	+0,4	ikke beregnet

Tabell 18. Endring av flomvannføringer for Vorma ved Ertesekken/ Svanfoss.

	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_{1000} m^3/s
Vorma ved Svanfoss, 2021	940	1120	1260	1410	1610	1760	1930	2350
Vorma ved Svanfoss, 2000	931	1067	1203	1343	1542	1705	1881	Ikke beregnet
Endring (m^3/s)	+9	+53	+57	+67	+68	+55	+49	-
Endring (%)	1 %	5 %	5%	5%	4 %	4%	3%	-

5.2 Sammenligning mot observerte flommer i vassdraget

Ved å velge flomverdier som gitt i 5.1 får flomvannstandene i 1995 og 1927 gjentaksintervall på 50 – 100 år i Mjøsa, mens flomvannstandene i 1967 og 1910 får gjentaksintervall på litt under 50 år. Storflommene i 1860 og 1789 får ut fra disse beregningene gjentaksintervall på godt over 200 år.

Flomvannføringene i Vorma i årene 1910 og 1995 får også gjentaksintervall på 50-100 år, mens vannføringen i 1927 får et gjentaksintervall på 100-200 år. 1967-flommen kan karakteriseres som en 20-årsflom. Flommen i 1860 får ut fra disse beregningene et gjentaksintervall på nesten 1000 år i Vorma.

Årsaken til at gjentaksintervallet for vannstand og vannføring kan bli ulikt for de samme hendelsene, er at flomforholdene i Mjøsa og Vorma også påvirkes av vannføringen/ vannstanden i Glomma og manøvreringen av lukene ved Svanfoss. Dette kan en for eksempel se fra flomvannstandene i 1910 og 1967 som var nesten identiske. Likevel var flomvannføringen i Vorma omkring 250 m^3/s større i 1910 enn i 1967, årsaken var først og fremst at den samtidige vannføringen i Glomma var vesentlig mindre i 1910 enn i 1967.

Et annet eksempel. Ruting-beregningene viser at hvis en ved 200-års tilløpsflom har lukene helt åpne under hele flomforløpet, øker avløpsflommen fra Mjøsa med omkring 200 m^3/s, sammenlignet med at manøvreringsreglementets punkt 3 legges til grunn. Det vil og føre til at maksimal flomvannstand i Mjøsa reduseres med ca. 40 cm.

5.2.1 Våren 2020, mye snø – mulighet for storflom

NVEs flomvarslingstjeneste utarbeider hver vår scenarioer for ventet vannstandsutvikling i blant annet Mjøsa. Beregningene baseres på simuleringer med HBV-modeller, som gir informasjon om snømengder og fuktighetsforhold i nedbørfeltene oppstrøms Mjøsa. Dette kombineres så med historiske værdata (nedbør og temperatur) fra de siste drøyt 60 årene for de neste ukene.

Ut fra dette får man en rekke mulig utfallsrom. Våren 2020 var det mye snø i både nedbørfeltet til Glomma og Mjøsa. Beregningene ved flomvarslinga viste at med en værutvikling som i 2011 ville vannstanden bli ca. 1 m høyere enn i 1995, eller omkring 126,8 moh. Det er noe under beregnet nivå for 200-års flomvannstand i denne rapporten (127,0 moh).

Flomvarslinga hadde også andre langtids værprognoser (1 – 2 måneder frem) levert av Meteorologisk Institutt som ble lagt inn i våre modeller. Ut fra disse prognosene fantes det mulige værutviklinger som ga vesentlig våtere sommervær enn i 2011. Flomvarslingas beregninger viser at en svært våt sommer kombinert med et stort snømagasin kunne gitt flomvannstander på ca. 127,5 moh, eller omkring 1,7 m over 1995-nivå eller kun 0,5 m under rekordnivåene fra 1789 og 1860.

5.3 Usikkerhet og effekt av valg i beregningene

Til tross for et antatt godt datagrunnlag (se også avsnitt 5.4), er det usikkerheter knyttet til flomberegninger. Usikkerheten skyldes flere forhold.

Når det gjelder frekvensanalyse av vannstandsdata er det en statistisk usikkerhet knyttet til det at vi har et begrenset antall år med data. Selv om datagrunnlaget er utvidet med informasjon om historiske flomvannstander tilbake til 1789, gir analysene et utfallsrom (95 % konfidensintervall) på ca. 1 m for beregnet 200-års flomvannstand. For sjeldnere flomvannstander er usikkerheten større for hyppigere flomvannstander er usikkerheten naturlig nok mindre (se spesielt tabell 10 i kap. 3.2.1). Det er altså en betydelig usikkerhet

knyttet til det å anslå sjeldne hendelser, nettopp fordi de er svært sjeldne. Fra figur 11 i kapittel 3.2.1 ser en at de to svært høye flomvannstandene i 1789 og 1860, ut fra våre analyser sannsynligvis har et gjentaksintervall på omkring 500 år, men at gjentaksintervallet for disse flomvannstandene også kan være i underkant av 200 år eller godt over 1000 år. Svaret på dette vil vi kunne få i løpet av noen hundre år!

Samtidig er det utført flomberegninger for Mjøsa/ Vorma, slik en tradisjonelt gjør for magasiner i forbindelse med damsikkerhet. Slike beregninger gir en mer komplett gjengivelse av det totale systemet Mjøsa, Vorma, Glomma som vannstanden i Mjøsa er avhengig av, enn en analyse kun på vannstandsdata. Til slike beregninger er det også knyttet en rekke usikkerhetsfaktorer, både med hensyn til den hydrauliske modelleringen av systemet Mjøsa/ Vorma/ Glomma, men også til en rekke andre valg.

For Mjøsa bygger disse analysene på frekvensanalyse av beregnede tilsigsdata til Mjøsa, disse er deretter routet gjennom vassdraget og til slutt gjennom Mjøsa ved gitte initialbetingelser. Det er usikkerhet knyttet både til konstruksjon og frekvensanalyse av tilsigsserien for Mjøsa og til valg av flomforløp. I disse beregningene er beregnet tilløp for 1995-flommen, som har gitt de høyeste flomvannstandene siden 1927, skalert til ønskede gjentaksintervall.

Det er også usikkerhet knyttet til hva som er «riktig» kombinasjon av vannføring i Glomma og flom i Mjøsa/ Vorma. I disse beregningene er det for Glomma benyttet flom-forløp og vannføringer som observert i 1995. Under flommene i 1967 og 1995, var det relativt stor vannføring i Glomma da Mjøsa steg og nådde høyeste flomvannstand det året. Også ved storflommen i 1860 var det sannsynligvis slik, mens ved de store flommene i 1910 og 1927 var sannsynligvis vannføringen vesentlig lavere i Glomma enn det den var i 1995 og 1860.

Videre er det i disse ruting-beregningene gjort antagelser om både startvannstand i Mjøsa og i oppstrøms magasiner. Ved beregning av 500-årsflom for damsikkerhet (Norconsult, 11) er det antatt at Mjøsa ligger på HRV ved flommens start. Dette antas også å være en rimelig antagelse ved beregning av 1000-års flomvannstand i Mjøsa.

For ruting-beregninger av flommer med lavere gjentaksintervall er det gjort alternative beregninger med starvannstander i Mjøsa fra HRV til 2 m under HRV. Ved flommen i 1995 var vannstanden i Mjøsa ca. 1,9 m under HRV 16 dager før kulminasjon. Vannstanden 16 dager før kulminasjon i Mjøsa har de siste 60 år variert fra omkring 2,2 m under HRV til 0,7 m over HRV, ofte (i 33 av 60 år) har vannstanden vært innafor 0,5 m over/ under HRV. Ved flommene i 1910 og 1927, da vassdraget var vesentlig mindre regulert enn i dag, var imidlertid vannstanden i Mjøsa 2,2 og 1,4 m over dagens HRV 16 dager før vannstanden nådde sitt maksimum! Det vil si, også initialvannstanden i Mjøsa er en kilde til usikkerhet i disse beregningene. Kulminasjonsvannstanden i Mjøsa reduseres med ca. 15 cm pr 50 cm redusert initialvannstand ut fra det valgte flomforløpet.

Vannstanden i og avløpet fra Mjøsa påvirkes åpenbart også av manøvreringen av de fire lukene ved Svanfoss. Ved full åpning av lukene, kontra det å følge punkt 3 i manøvreringsreglementet, under hele flomforløpet, vil for eksempel 200-årsflomvannstand reduseres med omkring 40 og 30 cm i henhold til NVEs og Norconsults beregninger. Dette vil samtidig føre til økt avløp fra Mjøsa og forverre flomforholdene for blant Øyeren-området med Lillestrøm. I en aktuell situasjon vil

imidlertid både regulant og NVE gjøre vurderinger av hvordan de totale flomskadene i vassdraget kan minimaliseres, og ut fra det vurdere hva som ansees for den mest optimale manøvreringen.

Det er ytterligere usikkerhet knyttet til virkningen av reguleringene lenger opp i vassdraget på flomvannstandene i Mjøsa. I (15) er det funnet at *ledig magasinkapasitet i starten av flomforløpet gir generelt reduserte flommer, også for de ekstreme flommene, men effekten minker med økende størrelse på flommene.* For Vorma/ Mjøsa er det beregninger som tilsier at også relativt store flommer, som for eksempel 1995-flommen, ble noe redusert som følge av reguleringene i vassdraget. I flomberegningene for damsikkerhet for Svanfoss (11) er det gitt tillatelse til å regne med noe ledig magasinkapasitet i høyfjellsmagasinene. Det har anslagsvis redusert flomvannstandene i Mjøsa med 30 cm.

Ved bruk av Bayesiansk tilnærming ved flomfrekvensanalysen fås et usikkerhets-intervall på de beregnede flomvannføringene. Ut fra de tilgjengelige data for Vorma ved Ertesekken er 1000-årsflom, med 95 % sannsynlighet, estimert til å ligge mellom ca. 1950 og 2800 m^3/s. Medianverdien fra den beregningen gir ca. 2350 m^3/s (tabell 12). Regionale flomformler gir en verdi i underkant av 2300 m^3/s.

Ruting-beregningene gir en 1000-årsflom som ligger mellom ca. 2150 m^3/s og 2500 m^3/s avhengig av lukemanøvrering ved Svanfoss og valg av hydraulisk modell (NVE eller Norconsult). Det er da antatt en flomdempning i oppstrøms magasiner, som anslagsvis gir ca. 70 m^3/s lavere avløpsflom enn om alle magasin forutsettes på HRV ved flommens start.

Resultatene fra de ulike metodene harmonerer dermed rimelig godt, og usikkerheten i beregnede flomvannføringer ligger sannsynligvis innafor +/- 15–20 %, slik frekvens-analysene antyder.

5.4 Klassifisering av datagrunnlaget

I (16) er det anbefalt å vurdere det hydrologiske datagrunnlaget som brukes i flomberegningen ut fra en skala fra 1 til 5, der 1 er beste klasse og 5 er dårligst. Det hydrologiske datagrunnlaget for Mjøsa og Vorma vurderes å være i klasse 1 «Godt hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i vassdraget».

Det fins lange dataserier (>50 år) med både observerte vannstandsdata i Mjøsa og vannføringsdata i Vorma ved Ertesekken. I tillegg fins det historiske vannstandsdata for enkelte større flommer i Mjøsa tilbake til 1789, og det er beregnet vannføring for tre historiske (1860, 1910 og 1927) flommer i Vorma. Også disse historiske hendelsene er inkludert i analysene.

Videre er flomvannføringer og vannstander beregnet med flere metoder, både basert på frekvensanalyser av direkte observerte data og ved beregning av tilsig til Mjøsa som så er routet gjennom vassdraget. Ruting er og til dels utført med to hydrauliske modeller, en

kalibrert av Norconsult og en av NVE. Resultatene fra de ulike modellene harmonerer godt.

6 Klimapåslag

I henhold til NVEs klimastrategi (4), skal det tas hensyn til et endret klima for tiltak med lang levetid. For eksempel ved å ta hensyn til endringer i flomstørrelser ved arealplanlegging og bygging/ombygging av viktig infrastruktur.

I (6) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til forventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall. I den rapporten er det også gjort spesifikke anbefalinger for områder som er flomsonekartlagt. For Mjøsa og Vorma er det ikke anbefalt noe klimapåslag, da flommer her domineres av snøsmelteflommer om våren og tidlig på sommeren.

Referanser

(1) Bønsnes T.E., Ejigu D. og Holmqvist E. 2019, Rånåsfoss - Mjøsa. Virkning av overvann Rånåsfoss kraftverk på flomvannstand i Mjøsa. NVE-rapport 32-2019.

(2) Engeland, K., mfl., 2020. Lokal og regional flomfrekvensanalyse., NVE Rapport nr. 10 – 2020, Norges Vassdrags- og Energidirektorat.

(3) Furuholmen 1938. Glommens brukseierforening 1903-1938. Grøndahls & Søns boktrykkeri 1938.

(4) Hamarsland m.fl. 2015. NVEs klimatilpasningsstrategi 2015-2019. NVE-rapport 80-2015.

(5) Kristensen S. 2002: Flomsonekart, delprosjekt Gjøvik. NVE flomsonekart 13-2002.

(6) Lawrence, D., 2016. Klimaendring og fremtidige flommer i Norge, NVE Rapport nr.81– 2016.

(7) Naserzadeh og Pereira, 2005: Flomsonekart, delprosjekt Hamar. NVE flomsonekart 3-2005.

(8) Naserzadeh og Svegården, 2006: Flomsonekart, delprosjekt Lillehammer. NVE flomsonekart 6-2006.

(9) Naserzadeh og Pereira, 2007: Flomsonekart, delprosjekt Eidsvoll. NVE flomsonekart 2-2007.

(10) Multiconsult 19.03.2018: Verdien av vassdragsreguleringer for reduksjon av flomskader.

(11) Norconsult 23.08.2021: Flomberegning Svanfoss.

(12) Norconsult 14.10.2021: Flomberegning Mjøsa og Svanfoss.

(13) Pettersson L.-E., 2000: Flomberegning for Mjøsa og Vorma. NVE-dokument 23-2000.

(14) Pettersson L.-E., 2000: Flomberegning for Glomma oppstrøms Vorma. NVE-dokument 10-2000.

(15) Stenius, S. m.fl 2021. Flomberegninger i regulerte felt – hvordan vassdragsreguleringer og flomforløp påvirker flomforholdene. NVE-rapport 21-2021.

(16) Midttømme G.H. og Pettersson L.E. m.fl. 2011. Retningslinjer for flomberegninger . NVE retningslinje 04-2011.

(17) Roald, L. 2013. Flom i Norge. Forlaget Tom & Tom 2013.

(18) Roald, L. Floods in Norway. NVE-rapport 1-2021. (Se spesielt «table 3.1.14.1 og fig. 2.1.5.15).

(19) Vinje Å.O. 1923. Ferdaminde fraa sumaren 1860. Det norske Samlaget, 1923.

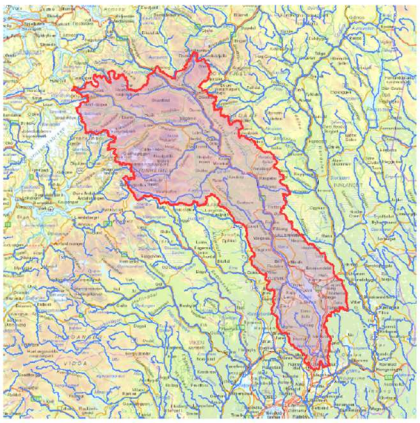
(20) Thorarinsdottir T. 2018. Nytt rammeverk for flomestimering i Norge. Sluttrapport fra forskningsprosjektet FlomQ. Energi-Norge rapport nr. 429-2018.

(21) Robson, A. J. and Reed, D. W. 1999 Statistical procedures for flood frequency estimation. Volume 3 of the Flood Estimation Handbook. Centre for Ecology & Hydrology.

7 Vedlegg

7.1 Vedlegg 1, nedbørfelt

Nedbørfelt med feltkarakteristika for Mjøsa/ Vorma



Norges vassdrags- og energidirektorat

NVE

Kartbakgrunn:	Statens Kartverk
Kartdatum:	EUREF89 WGS84
Projeksjon:	UTM 33N
Beregn.punkt:	298161 E 6680779 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Feltparametere		
Areal (A)	17489	km²
Effektiv sjø (A_{SE})	2.08	%
Elvleengde (E_L)	337.2	km
Elvegradient (E_G)	1.4	m/km
Elvegradient$_{1085}$ ($E_{G,1085}$)	1.5	m/km
Helning	9.7	°
Dreneringstetthet (D_T)	1.2	km^{-1}
Feltlengde (F_L)	300.5	km

Arealklasse		
Bre (A_{BRE})	1.6	%
Dyrket mark (A_{JORD})	6.3	%
Myr (A_{MYR})	5.1	%
Leire (A_{LEIRE})	0.5	%
Skog (A_{SKOG})	39.2	%
Sjø (A_{SJO})	6.1	%
Snaufjell (A_{SF})	36.6	%
Urban (A_U)	0.5	%
Uklassifisert areal (A_{REST})	4.6	%

Hypsografisk kurve		
Høyde$_{MIN}$	90	m
Høyde$_{10}$	272	m
Høyde$_{25}$	532	m
Høyde$_{50}$	921	m
Høyde$_{75}$	1257.5	m
Høyde$_{MAX}$	2463	m

Klima- /hydrologiske parametere		
Avrenning 1961-90 (Q_N)	18.8	l/s*km²
Nedbør juni	62	mm
Nedbør juli	74	mm
Regn og snøsmelting mai	183	mm
Regn og snøsmelting juni	129	mm
Regn og snøsmelting årlig 4d	82	mm
Regn og snøsmelting november	15	mm
Temperatur februar	-9.7	°C
Temperatur mars	-6.8	°C

7.2 Vedlegg 2, manøvreringsreglement for Mjøsa

MANØVRERINGSREGLEMENT FOR REGULERING AV MJØSA.
FASTSATT VED KGL. RESOLUSJON 9. JUNI 1961.
Endr. vedr. sluser ved Kgl.res. 23. november 1973.
Endring ved Kgl. res. 15. mai 1981.

1.

Øvre reguleringsgrense,
H.R.V. er 5,25 m på Hamar V.M. = k. 123,186 m o.h.

Nedre reguleringsgrense,
L.R.V. er 1,64 m Hamar V.M. = 119,576 m o.h.

Høydene refererer seg til Hamar V.M. med 0-punkt på 117,936 m o.h. i reguleringens generalplan. Reguleringsgrensene skal betegnes med et fast og tydelig merke.

2.

Magasinert vann i Mjøsa tappes etter behovet for de nedenforliggende bruk.

Når vannstanden overskrider øvre reguleringsgrense skal dammen åpnes således at flommen slippes igjennom så fort som mulig, idet det dog has for øye at skadevirkningene nedover i vassdraget ikke blir større enn de ville ha vært uten regulering av Mjøsa, jfr. for øvrig de holdepunkter for manøvreringen som er gitt nedenfor i post 3 og 5.

Ved flommens inntreden om våren skal magasinet så vidt mulig være nedtappet.

3.

(De 4 luker i dammen betegnes nedenfor som luke I, II, III og IV, regnet fra østre bredd.)

Under flomstigningen om våren skal luke I, omløpstunnel og slusekanal være stengt, mens luke II og IV skal stå helt åpne, og toppen av luke III skal være innstillet på k. 118,41 inntil vannstanden ved «Svanfoss ovenfor» (02 i nærheten av innløpet til slusekanalen) stiger til k. 123,08. Ved høyere vannstand manøvreres luke III således:

Når v.st. stiger fra 123,08 til 123,38 senkes luke III suksessivt til 118,24
v.st. stiger fra 123,38 - 123,70 senkes luke III suksessivt til 118,07
v.st. stiger fra 123,70 - 123,99 senkes luke III suksessivt til 117,95
v.st. stiger fra 123,99 - 124,29 senkes luke III suksessivt til 117,87
v.st. stiger fra 124,29 - 124,56 senkes luke III suksessivt til 117,80
v.st. stiger fra 124,56 - 124,83 senkes luke III suksessivt til 117,76
Luke II, III og IV er da helt åpne.

Ved ytterligere stigning av vannstanden manøvreres luke I således:

Når v.st. stiger fra 124,83 til 125,09 heves luke I suksessivt 61 cm.
Når v.st. stiger fra 125,09 til 125,33 heves luke I suksessivt fra 61 til 67 cm.

Ved høyere vannstander holdes lukestillingen uforandret.

Ved synkende vannstander etter vårflommens kulminasjon manøvreres lukene tilsvarende, så lenge vannstanden i Mjøsa er over 5,25 m på Hamar V.M.

4.

Når vannstanden i Mjøsa etter flommen om sommeren er falt til 5,25 m på Hamar V.M., kan avstengning - eventuelt åpning - finne sted for å holde denne vannstand til tapping er nødvendig etter lavvannsperiodens inntreden.

Hvis vannstanden kulminerer på lavere vannstand enn 5,25 m på Hamar V.M., kan avstengning foretas for å fylle magasinet før lavvannsperiodens inntreden.

5.

Når vannstanden i Mjøsa ved inntredende regnflom om sommeren og høsten vil stige over 5,25 m på Hamar V.M., åpnes dammen litt etter litt og således at tappingen mest mulig blir i overensstemmelse med reglene i pkt. 3.

6.

Der avgis nødvendig vann til den alminnelige fløting overensstemmende med hva der måtte bli bestemt ved overenskomst eller i medhold av reguleringslovens § 19.

7. (Siste del av posten bortfalt ved kgl.res. 23.11.1973)

Det skal påsees at reguleringsanlegget er i god stand og at tømmer og isflak ikke sperrer foran flom- og tappeløp.

8. (Bortfalt 23. november 1973.)

9.

Til å utføre manøvreringen antas norsk statsborger som godtas av Kongen. Han skal ha fast bopel ved reguleringsanlegget og telefon i sin bolig.

Der føres protokoll over manøvreringen og avleste vannstander, samt observeres og noteres om forlanges regnmengder, temperatur m.v. Avskrift av protokoll og noteringer sendes ved hver måneds utgang til Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen.

10.

Viser det seg at slippingen etter dette reglement medfører skadelige virkninger av omfang for almene interesser, kan Kongen uten erstatning for konsesjonæren, men med plikt for denne til å erstatte mulige skadevirkninger for tredjemann, fastsette de endringer som finnes nødvendig.

11. (ny post 11 ved kgl.res. 15.05.1981)

"Når snø- og/eller nedbørsmålinger i Mjøsas nedbørfelt indikerer at vannstanden i Mjøsa om våren vil overstige 6,00 m målt på Hamar vannmerke, kan Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen kreve at dammen om mulig skal åpnes mer enn angitt i pkt. 3 for å slippe flommen igjennom så fort som mulig, såfremt dette kan skje uten at skadevirkningene nedover i vassdraget blir vesentlig større enn ved manøvrering etter pkt. 3 alene. Ved inntredende regnflom om sommeren og høsten kan NVE kreve at det forholdes på samme måte når vannstanden i Mjøsa antas å ville stige over 6,00 m på Hamar vannmerke.

Mertapping utover det pkt. 3 tilsier skal bare kunne finne sted sålenge dette ikke medfører ekstra vannstandstigning i Øyeren."

Konvertering mellom ulike høydesystemer

HRV

= 123,15 moh (NN2000)

= 122,94 moh (NN1954)

= 123,186 moh (reguleringens generalpålan)

= 5,25 m (lokal skala)

NN2000 = NN1954 + 21 cm = Reg. generalplan – 3,6 cm = Lokal skala + 117,90 m

NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

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

www.nve.no