

Nord-Aurdal Kommune

► Aurdalsfjorden - Flomvannstander 200- og 1000-årsflom

Oppdragsnr.: 52303466 Dokumentnr.: 52303466-R01 Versjon: D01 Dato: 2023-09-22



Oppdragsgiver: Nord-Aurdal Kommune
Oppdragsgivers kontaktperson: Runar Kittelsen
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Jon Olav Stranden
Fagansvarlig: Jon Olav Stranden
Andre nøkkelpersoner: Henrik Opaker
Forsidefoto: Sundvoll bru 11.8.2023 (Jon Olav Stranden)

D01	2023-09-22	Utkast for gjennomsyn hos oppdragsgiver	Jon Olav Stranden	Henrik Opaker	Jon Olav Stranden
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammendrag

Nord-Aurdal kommune i Innlandet fylke har i dag både vannbehandlingsanlegg og avløpsrensaneanlegg i øvre del av Aurdalsfjorden. Aurdalsfjorden fungerer også som inntaksmagasin for Bagn kraftverk.

I forbindelse med kommunens planer for nytt avløpsrensaneanlegg, samt vurdering av flomsikkerhet for eksisterende vannbehandlingsanlegg er Norconsult blitt forespurt om bistand til å beregne 200- og 1000-års flomvannstand i Aurdalsfjorden.

Det er gjort en beregning av flomvannføring og flomvannstand for Aurdalsfjorden ved dagens vannbehandlingsanlegg ihht. kravene for F2 i TEK17 (200-årsflom). For et nytt avløpsrensaneanlegg er det lagt til grunn sikkerhetsklasse F3 i TEK17, det vil si 1000-års gjentakintervall for flom.

Data for flommen under ekstremværet «Hans» i august 2023 er tatt med i analysene. Denne flommen var den største observerte siden målingene ved Bagn startet i 1949, og analyser tilsier at flommen var større enn en 200-årsflom i Aurdalsfjorden og ved Bagn. I tillegg var flommen en ren regnflom (ingen innvirkning fra snøsmelting). Der man tidligere har vurdert at de største flommene i Begna ved Bagn er flommer dominert av snøsmelting, har flommen under «Hans» påvirket denne vurderingen til at også regnflommer kan bli ekstremflommer i Begna ved Aurdalsfjorden/ Bagn. Basert på NVEs anbefalinger om klimapåslag, bør det derfor også tillegges klimapåslag på beregnet flomstørrelse. Med 20 % klimapåslag blir beregnet 200-årsflom for Aurdalsfjorden på 742 m³/s (kulminasjonsverdi).

Resultater både for 200-årsflom og 1000-årsflom er vist i Tabell 1. 0,3 m sikkerhetsmargin er inkludert i vannstands nivåene. Flomfare fra eventuelle sideelver og -bekker til Begna, og lokal overvannshåndtering, er ikke vurdert.

Tabell 1 Flomvannstander Aurdalsfjorden inkl. 0,3 m sikkerhetsmargin (NN2000). Avrundet opp til nærmeste hele 5 cm.

	Vst. Sundvoll moh	Vst. vannbeh.anlegg/ Vøllarvang moh	Vannføring m ³ /s
200-årsflom	311,95	312,15	742
1000-årsflom	313,35	313,45	965

► Innhold

1	Bakgrunn	6
1.1	Innledning	6
1.2	Vassdraget	6
1.3	Skred AS' flomberegninger fra 2021	7
1.4	Norconsults flomberegninger fra 2020	8
1.5	Vurdering av tidligere flomberegninger og valg av metodikk	8
2	Analyse flomvannstander	10
2.1	Manøvrering av Bagndammen ved flom	10
2.2	Historiske vannstandsdata Aurdalsfjorden	10
2.2.1	<i>Flommen under ekstremværet «Hans»</i>	12
2.3	200-års flomvannføring	13
2.4	Kulminasjonsvannføring	16
2.5	Vurdering av klimapåslag	16
2.6	Endelige flomstørrelser 200-årsflom og 1000-årsflom	19
2.7	Hydraulisk modell	19
3	Resultater	21
3.1	Flomvannstander Aurdalsfjorden	21
3.2	Vurdering av datagrunnlag, usikkerhet og sensitivitet	21
4	Referanser	21

1 Bakgrunn

1.1 Innledning

I forbindelse med fremtidig planarbeid i Nord-Aurdal kommune, har Norconsult fått i oppdrag å se på flomvannstander for Aurdalsfjorden i henhold til byggt teknisk forskrift (TEK17) for sikkerhetsklasse F2 (200-årsflom, Q_{200}) for vurdering av eksisterende vannbehandlingsanlegg. For vurdering av et mulig fremtidig avløpsrensaneanlegg er det beregnet 1000-årsflom (Q_{1000}) ihht. sikkerhetsklasse F3 i TEK17.

200-årsflom er beregnet for regulert vannføring (noe NVEs veileder for flomberegninger åpner for), mens flomvannstand- og vannføring ved 1000-årsflom er regnet for uregulert vassdrag og hentet fra flomberegninger for Bagndammen/ Aurdalsfjorden fra 2020.

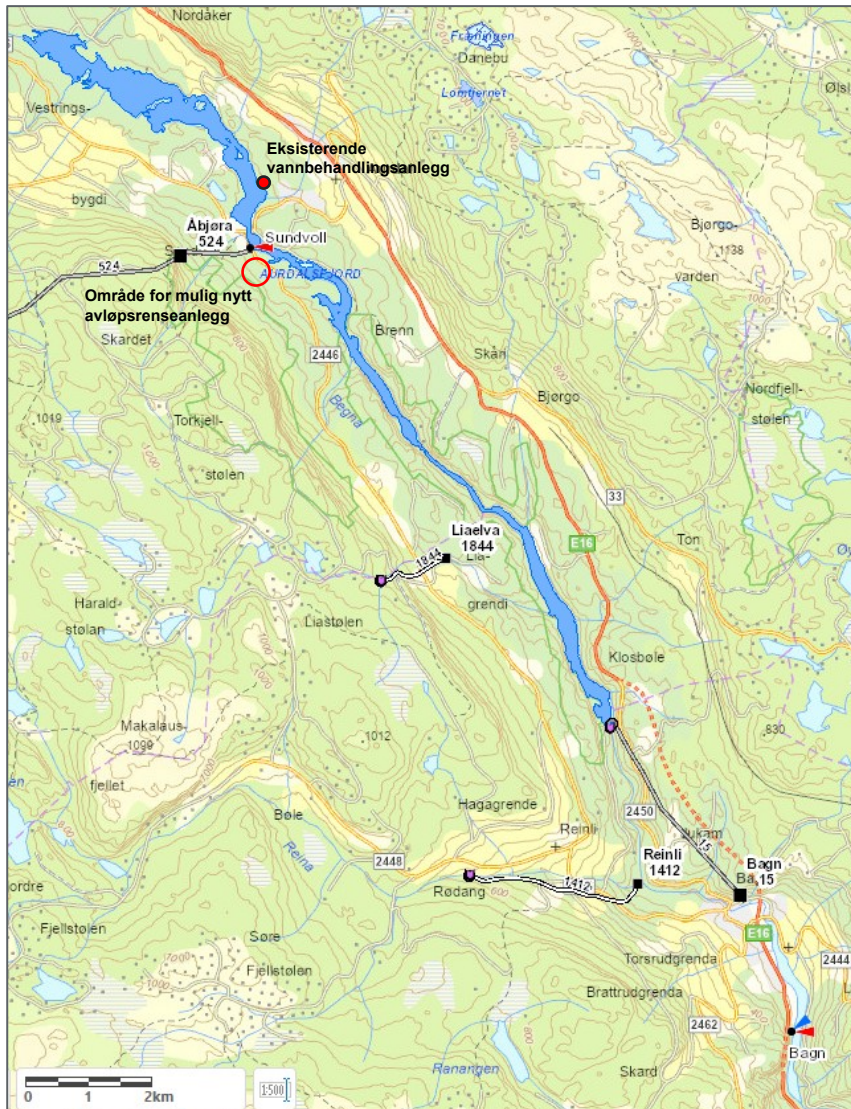
Aurdalsfjorden strekker seg om lag 10 km fra Bagndammen og opp til planlagt avløpsrensaneanlegg og eksisterende vannbehandlingsanlegg helt nord i Aurdalsfjorden. Aurdalsfjorden er smal, og særlig det smaleste partiet (Åskjerfossen) gjør at det vil være høyere vannstand nord i Aurdalsfjorden sammenlignet med ved Bagndammen. På grunn av dette er det satt opp en hydraulisk modell som ut fra oppmålte dybder i magasinet beregner vannstandsforskjellen. Modellen er kalibrert mot observert vannstandsforskjell mellom Bagndammen og Sundvoll, inkludert observert vannstand under «Hans».

Denne rapporten går gjennom forutsetninger, beregning av flomvannføring og beregnet flomvannstand i Aurdalsfjorden ved 200- og 1000-årsflom.

1.2 Vassdraget

Begnavassdraget har vært utnyttet til vannkraftproduksjon siden tidlig 1900-tall, med første konsesjon gitt i 1916. Den første større utbyggingen kom med Åbjøra kraftverk og reguleringer i 1953. Utbyggingen i vassdraget har videre foregått stegvis, der Ylja (1973) og Lomen (1983) har vært de største utbyggingene. Etter 1973 har vassdraget vært tilnærmet som i dag med hensyn på reguleringer, ettersom Lomen-utbyggingen kun innebar overføring av vann fra Neselvi vestover til Begna (ingen nye magasin). Bagn kraftverk har en installert effekt på 75,5 MW og ble idriftsatt i 1963.

Nedbørfeltet er ved Aurdalsfjorden/ Bagndammen på 2875 km². Hovedvassdraget har sitt utspring på Filefjell. Aurdalsfjorden er regulert med HRV/LRV på 307,10/303,35 (NN2000), men det beskjedne volumet på 9,4 Mm³ sammenlignet med vannmengdene som passerer gjør at reguleringshøyden i praksis benyttes for stabil drift av Bagn kraftverk. Vannstanden i magasinene i Begnavassdraget reguleres av reguleringsforeningen (FBR). Like nedstrøms utløpet fra Bagn kraftverk ligger målestasjonen 12.290 Bagn, som måler totalt, regulert avløp fra et nedbørfelt på 2984 km². Data fra dette målepunktet står sentralt i analysene som er utført. Et kart over Aurdalsfjorden er vist i Figur 1.



Figur 1 Oversiktskart Aurdalsfjorden. Målepunkt Bagn nederst til høyre.

1.3 Skred AS' flomberegninger fra 2021

Skred AS utførte i 2021 flomsonekartlegging for Aurdal fjordcamping ved Sundvoll [3]. Det ble da lagt til grunn en flomvannføring på $710 \text{ m}^3/\text{s}$ (200-årsflom), og beregnet vannstand ved Aurdal camping ble på 312,2 moh (uten sikkerhetsmargin). Det ble i denne flomberegningen lagt til grunn NVEs flomverdi fra flomsonekartleggingen i 2014 [2], som ble utført for Strandefjorden. Ettersom feltarealet i Begna ved Aurdalsfjorden er litt over 50% større enn i Begna ved utløpet av Strandefjorden, ble beregnet flomstørrelse oppskalert i henhold til økning i areal.

Selve flomberegningen som lå til grunn for NVEs flomsonekartlegging i 2014, ble utført i 2012 (NVE-rapport 37-2012). I denne rapporten ble det forutsatt at flommene i Begnavassdraget vil gå fra å være helt påvirket av reguleringene i vassdraget ved 20-årsflom til å være helt upåvirket av reguleringene ved 200-årsflom. Vi er uenige i at vassdrag som Begna skal regnes som uregulert ved en 200-års flomhendelse. Nye analyser som inkluderer flommen Hans, viser en 200-årsflom ved Aurdalsfjorden på $618 \text{ m}^3/\text{s}$, som er vesentlig lavere

enn verdien beregnet av Skred AS/ NVE. Likevel gjør det faktum at 2023-flommen var en regnflom at det med gjeldende anbefalinger fra NVE bør legges 20 % klimapåslag på beregnet flomvannføring. Dette gir en 200-årsflom med klimapåslag som er noe større enn den Skred AS la til grunn i 2021.

Dette er diskutert nærmere i avsnitt 1.5.

1.4 Norconsults flomberegninger fra 2020

Norconsult utførte i 2020 flomberegninger for Begnavassdraget, inkludert Aurdalsfjorden [1]. Beregningene ble godkjent av NVE i 2021. Resultatet av denne beregningen er vist i Tabell 2.

Det ble ikke beregnet 200-årsflom i 2020, kun 1000-årsflom og PMF (påregnelig maksimal flom), med forutsetninger i henhold til damsikkerhetsforskriften. Damsikkerhetsforskriften legger til grunn konservative kriterier for å beregne flomstørrelser, dette skyldes i hovedsak det strenge regelverket som er knyttet til dammer i Norge. Flommer skal i henhold til damsikkerhetsforskriften beregnes som for et uregulert vassdrag med flere gitte kriterier. Disse kriteriene inkluderer:

- Alle magasiner i vassdraget skal være fulle (vannstand lik HRV) når flommen starter
- Alle overføringer/ tappinger oppstrøms i feltet skal manøvreres slik at de gir mest mulig ugunstig situasjon nedstrøms
- Tapping ut av magasin gjennom kraftverk skal forutsettes å være stengt ved beregning for aktuelt magasin
- NVE godkjente beregningene for Aurdalsfjorden/ Bagndammen med forutsetning om delvis tilstopping av flomløpene og full tilstopping av gangrekkverket på dammen

1000-års vannføring og vannstand ved tilstopping er lagt til grunn for vurderingene for mulig nytt avløpsrenseanlegg, som er planlagt i området Liaskogen, like sørøst for Sundvoll.

For dagens vannbehandlingsanlegg legges det til grunn 200-årsflom. En beregning av 200-årsvannstand i Aurdalsfjorden basert på skalering av 1000-årsflommen gir urealistisk høye flomestimer, selv om vi sammenligner med beregnet 200-årsflom med klimapåslag. Dette er nærmere begrunnet nedenfor.

Tabell 2 Flomvannstand Aurdalsfjorden 1000-årsflom (NN1954) fra Norconsults flomberegning 2020.

	Flomvannstand Aurdalsfjorden v/ Bagndammen (ihht. damsikkerhetsforskriften) moh (NN2000)	Flomvannføring Aurdalsfjorden (ihht. damsikkerhetsforskriften) m ³ /s
1000-årsflom v/ Bagndammen	310,45	964

1.5 Vurdering av tidligere flomberegninger og valg av metodikk

Både Skred AS beregning av flomvannføring i 2021 (basert på NVEs flomberegninger fra 2012/2014) og Norconsults fra 2020 er utført som om Begnavassdraget var uregulert. Når det gjelder Norconsults beregninger fra 2020, så er disse i tråd med kravene i damsikkerhetsforskriften. Det å anse et regulert vassdrag for å være uregulert kan gi overvurderte flomestimer, særlig for lavere gjentakintervaller. En annen faktor som kan gi høyere flomvannstand er usikkerheten som introduseres med oppsett og ruting av et flomforløp. Det vil i slike tilfeller være usikkerheter knyttet til både intensitet, fordeling, varighet og volum til forløpet.

I forbindelse med arealplanlegging og byggesaksbehandling er det i noen situasjoner åpent for at det kan regnes med regulerte vannføringer opp til og med 200-årsflom. Dette er også omtalt i NVEs veileder for flomberegning, avsnitt 2.6.2:

I vassdrag der det finnes et entydig manøvreringsreglement eller dokumenterte tappestrategier under flom, kan effekten av dette inkluderes i flomestimatene for gjentaksintervall opp til og med 200 år.

I Begnavassdraget er vanddisponeringen styrt av brukseierforeningen FBR (Foreningen til Begnavassdragets regulering). FBR forvalter vannressursene i Begnavassdraget med hensyn på både produksjon og flomdempning, og vassdraget styres etter innarbeidet manøvreringspraksis og -reglement for de store magasinene. En forutsetning om fulle magasiner og uregulerte flommer ved 200-årsflom vil derfor etter vår vurdering være kunstig konservativt.

For vurdering av flomfare for dagens vannbehandlingsanlegg er derfor 200-årsflom for regulert vassdrag lagt til grunn. Når det gjelder 200-årsflomvannføring, så er denne beregnet fra faktisk observert vannføring ved målepunktet nedstrøms Aurdalsfjorden, ved Bagn. Dette målepunktet har registrert vannføring siden 1949, og hele dataperioden er lagt til grunn, selv om første del har mindre reguleringsgrad enn i dag.

For gjentaksintervall høyere enn 200 år er det vanlig praksis at også større, regulerte vassdrag må antas å oppføre seg tilnærmet uregulert. Dette skyldes at ved så sjeldne flomstørrelser må man anta at intensiteter og volum er så ekstreme at vassdraget «renner over», slik at magasiner må påregnes å være fylt opp og ikke vil ha nevneverdig dempende effekt på flommene. **For vurdering av flomfare for mulig nytt avløpsrensaneanlegg ved Aurdalsfjorden er derfor 1000-årsflom fra Norconsults flomberegninger i 2020 lagt til grunn.** Disse flomberegningene ble utført for uregulert vassdrag og med 25 % tilstopping av flomlukene på Bagndammen. Sammenlignet med vannstandsforskjellen til situasjonen uten tilstopping er det valgt å ikke legge 20 % klimapåslag på toppen av 1000-årsflommen, da dette er vurdert å være i overkant konservativt. Bilder fra 2023-flommen viste for øvrig at lensene på Bagndammen fungerte etter hensikten også under ekstremflom (Figur 2).

Merk at flomberegningene til Norconsult kun angir flomvannstand ved Bagndammen. Lenger opp i Aurdalsfjorden vil vannstanden være høyere. Den hydrauliske modellen (avsnitt 2.7) er brukt til å beregne denne vannstandsforskjellen.



Figur 2 Bagndammen med lenser under flommen i 2023 (www.vg.no)

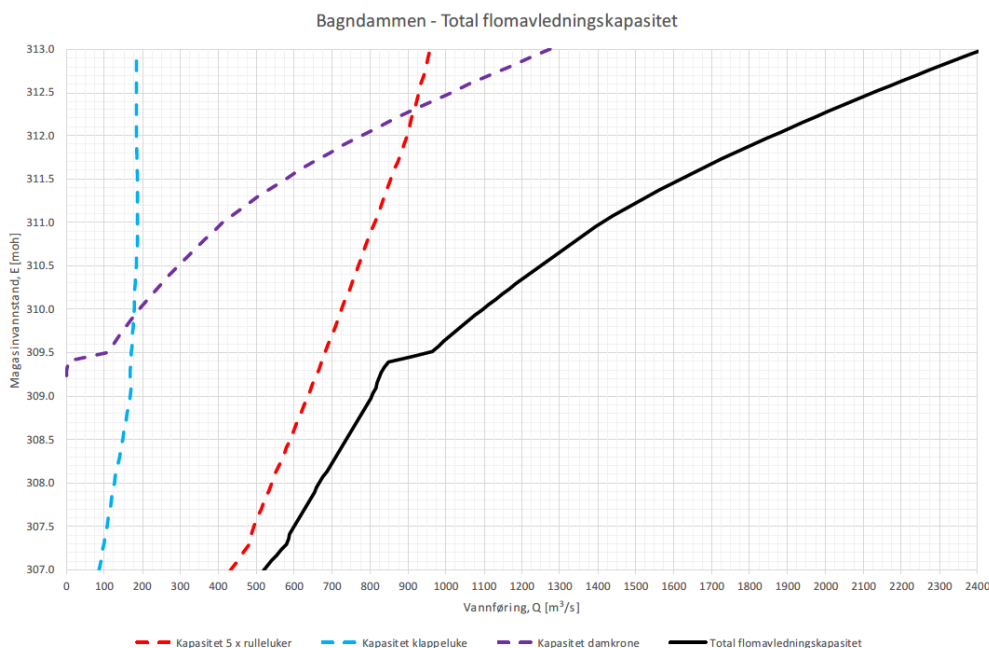
2 Analyse flomvannstander

2.1 Manøvrering av Bagndammen ved flom

Vannstanden i Aurdalsfjorden reguleres ved tapping gjennom Bagn kraftverk og via luker på Bagndammen. I normalsituasjon går alt vannet gjennom kraftverket, som har en maksimal slukeevne på ca. 100 m³/s. Ved vannføringer høyere enn dette vil det gradvis måtte slippes vann gjennom lukene på dammen (5 rulleluker og 1 klappeluke). Med kraftverket i drift vil flomlukene på dammen kunne holde vannstanden på HRV opp til vannføringer på 500-550 m³/s.

Ved 1000-årsflom skal det, i henhold til damsikkerhetsforskriften, forutsettes at kraftverket står.

I forbindelse med flomberegningene i 2020 ble det utført 3D-CFD-beregninger for flomavledningskapasiteten til dammen). Det er da forutsatt at alle flomlukene på dammen er i bruk, og at vannstanden holdes på HRV så lenge lukekapasiteten er større enn tilløpet. Kapasitetskurven for Bagndammen uten tilstopping av flomlukene er vist i Figur 3.



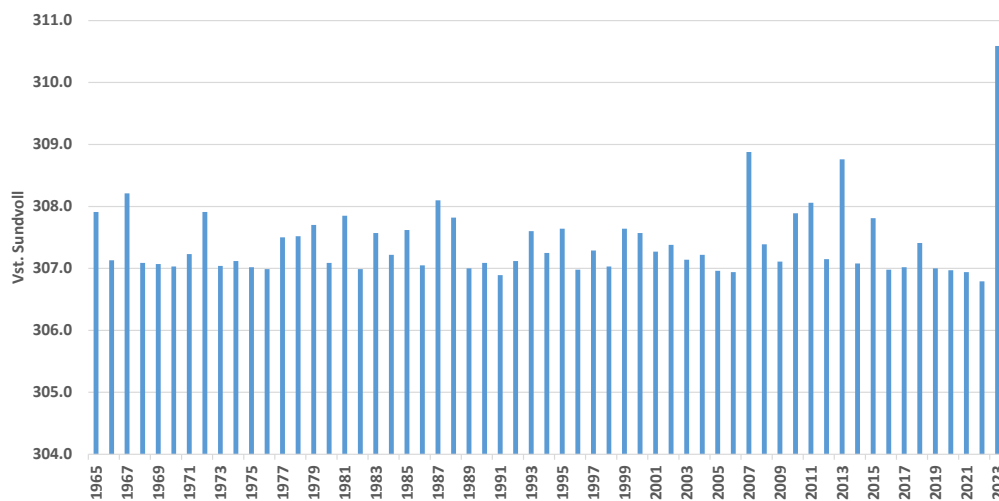
Figur 3 Kapasitetskurve Bagndammen (fra flomberegninger Bagndammen 2020, NN1954).

2.2 Historiske vannstandsdata Aurdalsfjorden

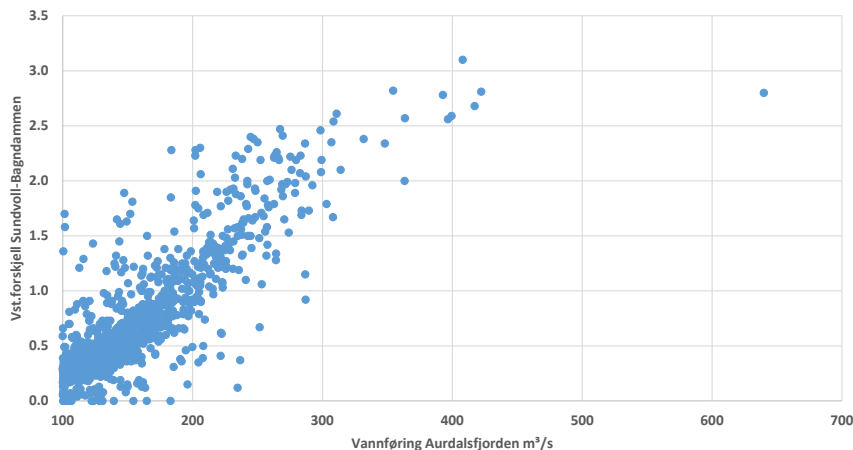
Ved Sundvoll, som ligger nord i Aurdalsfjorden, like ved utløpet fra Åbjøra kraftverk, er det blitt registrert vannstand siden 1965. Høyeste registrerte vannstand her var på 310,65 m den 9. august 2023 (NN2000), og nest høyeste på 308,88 moh den 11. juli 2007 (Figur 4). Ved målestasjonen 12.290 Bagn var 2023-flommen større enn en 200-årsflom og 2007-flommen en 50-100-årsflom.

Det er sett på vannstandsforskjellen mellom Sundvoll og Bagndammen tilbake til 1965 for vannføringer større enn om lag $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (tilsvarende slukeevnen i Bagn kraftverk). Resultatet er vist i Figur 5. Historiske data (både fra målepunktet Bagn og FBRs registreringer) viser en vannstandsforskjell mellom Bagndammen og Sundvoll på 2,5-3,0 m ved en vannføring på i størrelsesorden $400\text{-}500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figur 5). Ved flommen i august 2023 ble det registrert en vannstandsforskjell ned til Bagndammen på om lag 2,8 m, selv om det da gikk hele $640 \text{ m}^3/\text{s}$. En årsak til at vannstandsforskjellen «flater» noe ut ved høyere vannføring, er at Bagn kraftverk sto under kulminasjonen i 2023, slik at vannstanden ved Bagndammen var relativt høy. Noe varierende bruk av luker og kraftverk er også antatt å være årsaken til spredningen i Figur 5. Observert vannstandsforskjell i 2023 er lagt til grunn for kalibrering av den hydrauliske modellen.

Målepunktet Sundvoll ligger på motsatt side av Begna for Aurdal camping, like ved utløpet fra Åbjøra kraftverk. Om vi antar at vannstand ved Sundvoll styres av begrensningen gjennom Åskjerfossen, så er forskjellen i feltareal mellom Sundvoll og Bagndammen på 2 %. Dette er godt innenfor usikkerheten i beregningene, samtidig som nedstrøms vannstand vil være med på å påvirke vannstandene videre oppover i Aurdalsfjorden. Det er derfor i de hydrauliske beregningene antatt at samme vannmengde passerer Sundvoll og Bagndammen. Slukeevnen i Åbjøra kraftverk (ca. $25 \text{ m}^3/\text{s}$) er antatt å komme inn øverst på beregningsstrekningen, som vil være litt konservativt, men uten nevneverdig betydning for resultatet, da det bare utgjør 3% av flomvannføringen ved 200-årsflom.



Figur 4 Årlig høyeste registrerte vannstand ved Sundvoll (NN1954).



Figur 5 Observert vannstandsforskjell mellom Sundvoll og Bagndammen (1965-2017+2023).

2.2.1 Flommen under ekstremværet «Hans»

I august 2023 (fra mandag 7. august) opplevde Begna (og også nabovassdragene Etna og Hallingdalsvassdraget) en ekstrem flomsituasjon, som følge av ekstremværet «Hans». Det ble også registrert store flomvannføringer i Gudbrandsdalen og Glomma, men ikke med like høye gjentaksintervall som lenger vest. Ekstremvarsel på rødt nivå ble sendt ut av NVE og Met søndag den 6. august.

Det ble registrert et vannstands nivå på 310,69 (NN2000) ved Sundvoll, og en samtidig vannstand ved Bagndammen på 307,84 (NN2000), en vannstandsforskjell på 2,85 m.

Et lavtrykk fra sørøst ble fra mandag 7. august liggende over Sør-Sverige i flere dager og «pumpet» fuktige luftmasser inn over Østlandet. Dette førte til svært mye nedbør over 2-3 dager, særlig fra litt utpå mandagen og inn i tirsdagsdøgnet. I løpet av natt til mandag og frem til nedbøren ga seg onsdag/torsdag kom det 100-200 mm nedbør over store deler av Begnavassdraget (Reinli 160 mm, Beito 119 mm, Fagernes 116 mm, Vang i Valdres 143 mm). Dette skjedde etter en fuktig juli måned, der det i størrelsesordenen kom dobbelt så mye nedbør som normalt (Fagernes 204%, Reinli 195%, Beito 255%, Vang 145 %). Dette, kombinert med en snørrik vinter 2022/ 23, gjorde at mange av magasinene i vassdraget hadde liten demping da «Hans» inntraff. Opptrekket til «Hans» (altså situasjonen i perioden før ekstremværet inntraff) kan dermed sies å ha vært ugunstig med hensyn på at vassdraget allerede hadde fuktige forhold og høy magasinifylling.

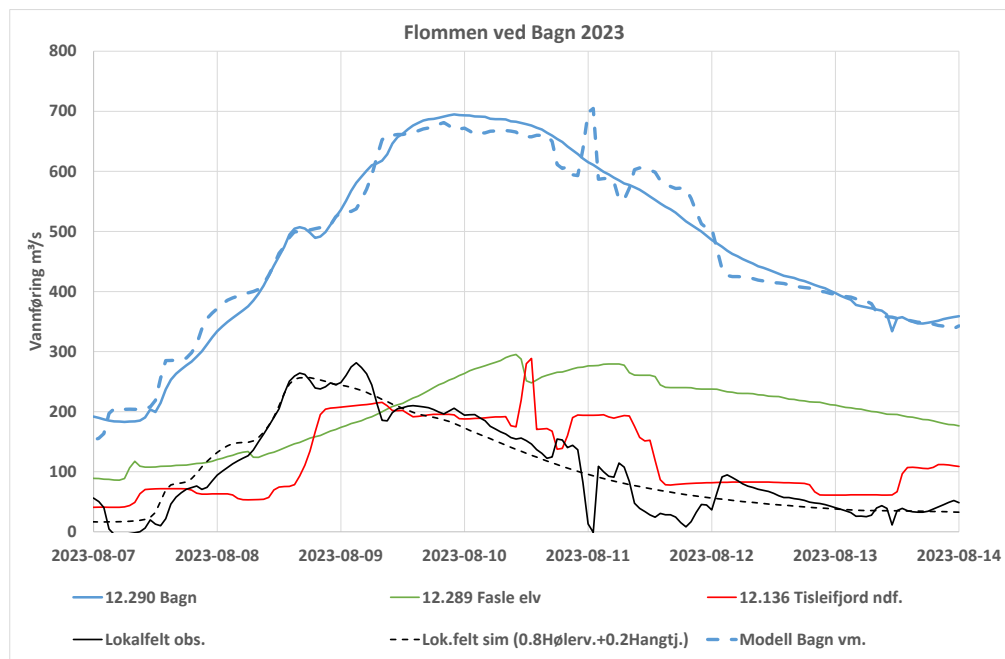
Kombinasjonen av ekstrem nedbør og liten magasin demping ga store flomvannføringer, og ved Bagn ble det registrert den største vannføringen siden serien ble igangsatt i 1949, på hele 695 m³/s (kulminasjonsverdi). Vannføring ved Bagn, fra Tisleifjord, fra Strandefjord og beregnet for lokalfeltet mellom Tisleifjord/Strandefjord og Bagn er vist i Figur 6. Det er også vist vannføring fra modellert serie, der lokaltilsig er beregnet fra nærliggende serier. Tilsiget fra lokalfeltet er kontrollert og best gjengivelse av flommen ble funnet ved å arealskalere seriene 12.89 Hangtjern (20%) og 12.171 Hølervatn (80%). Observasjonene tilsier en tidsforskyvning fra Tisleifjord på 12 t og fra Strandefjord på ca. 6 t ned til målestasjonen ved Bagn.

Under startfasen av flommen (7.-8. august) var det i hovedsak lokalfeltet (515 km²) nedenfor Tisleifjord/Strandefjorden som bidro til de høye flomvannføringene. Det ble i denne perioden tappet 40-70 m³/s fra Tisleifjorden og ved Fasle elv ble det registrert 100-150 m³/s (pluss 57 m³/s i kraftverket, antatt full drift). Lokalfeltet bidro på det meste med opp mot 280 m³/s (545 l/(s*km²)). Mot den 9. august økte imidlertid flomvannføringen fra Tisleifjorden til over 200 m³/s på grunn av fullt magasin, samtidig som vannføringen ut av Strandefjorden økte gradvis.

Flomverdi for Aurdalsfjorden under «Hans» som arealskalert fra målestasjonen ved Bagn og beregnet fra modell for døgndata (Tisleifjord+Fasle elv+Faslefoss kr.v.+lokaltilsig) er vist i Tabell 3.

Tabell 3 Flomverdier under «Hans» i 2023.

Tidsperiode	Areal km ²	Flomvannføring m ³ /s	Kommentar
12.290 Bagn	2984	674	
Aurdalsfjorden	2875	645	Arealskalert fra 12.290 Bagn
Aurdalsfjorden	2875	638	Sammensatt serie



Figur 6 Observert og simulert flomforløp ved 2023-flommen ved Bagn.

2.3 200-års flomvannføring

Figur 7 viser høyeste registrerte vannføringer og Figur 8 viser frekvensanalyse på årlige høyeste vannføringer ved Bagn for hele perioden 1949-2023 (både uregulert og regulert periode). Det er også beregnet en døgns serie for Aurdalsfjorden basert på:

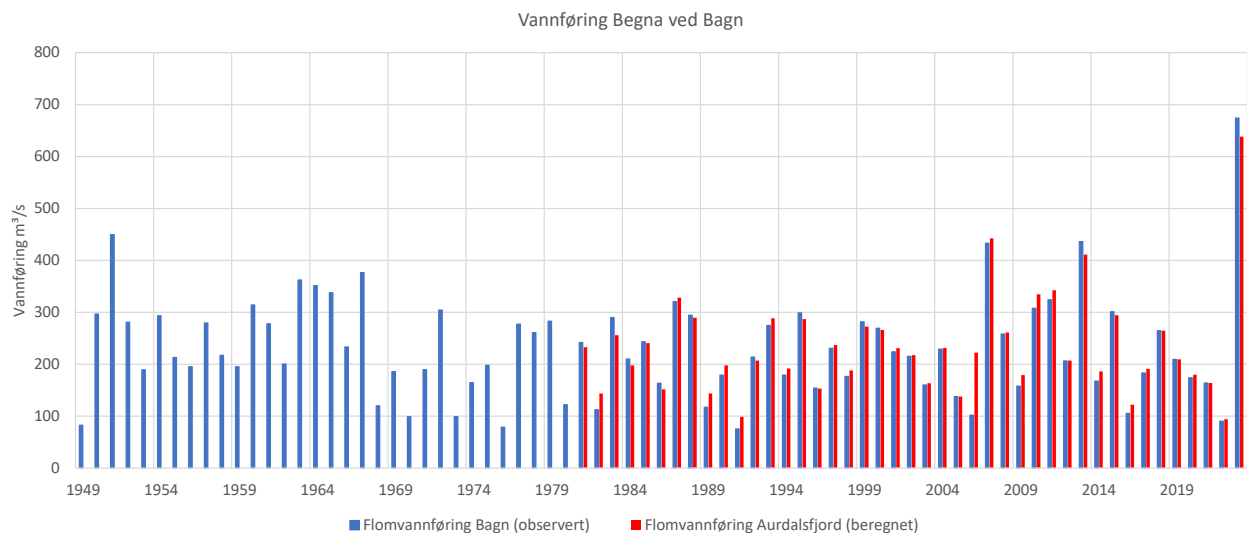
- Vannføring 12.289 Fasle elv
- Driftsvannføring Faslefoss kraftverk (antatt full drift 57 m³/s ved flom)
- Vannføring fra Tisleifjorden: 12.136 Tisleifjord ndf.
- Lokaltilsig mellom Tisleifjord/ Strandefjord og Aurdalsfjorden.

Lokaltilsiget er arealskalert fra seriene 12.171 Hølervatn og 12.212 Hangtjern, basert på analysene fra «Hans» (se ovenfor). Flomfrekvensanalyse på denne serien er vist i Figur 9. Ettersom analysene tilsier 12 t eller mindre tidsforsinkelse ned til Bagn, er det ikke lagt inn tidsforskyvninger mellom døgndataseriene.

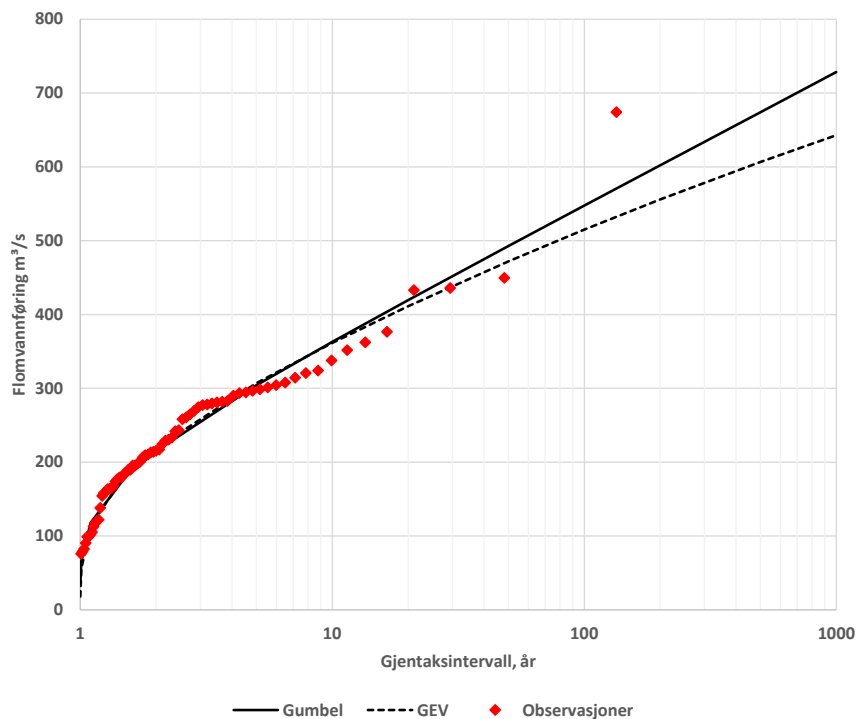
Det er vist to fordelingsfunksjoner i både Figur 8 og Figur 9, og Gumbelfordeling er valgt. Flommen «Hans» er den klart største flommen i begge seriene. Flommen i 2023 er en klar «outlier» i datamaterialet i begge seriene. Særlig for den beregnede serien som bare går fra 1981, er det åpenbart at flommen plottes med for lavt gjentaksintervall. Analysene av begge seriene tilsier at flommen «Hans» var på om lag 640 m³/s (referert Aurdalsfjorden) og hadde et gjentaksintervall på 300-500-år.

Basert på frekvensanalysene får vi en 200-års flomvannføring ved Bagn på om lag 600 m³/s. Ved arealskalering av denne verdien til feltet til Aurdalsfjorden, får vi en verdi på 578 m³/s, se Tabell 3. Analyse direkte på den beregnede serien ved Aurdalsfjord antyder en 200-årsflom på om lag 600 m³/s.

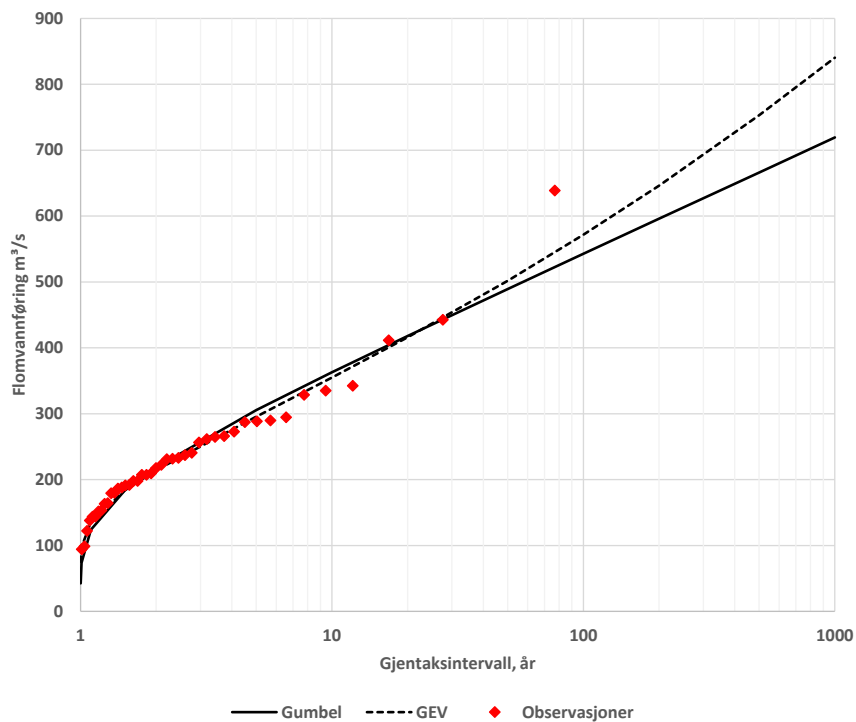
På bakgrunn av dette velger vi å sette 200-årsflom ved Aurdalsfjorden til 600 m³/s (døgnverdi).



Figur 7 Høyeste registrerte flomvannføringer hvert år ved Bagn, samt beregnet serie for Aurdalsfjord fra 1981.



Figur 8 Flomfrekvensanalyse på årlige høyeste vannføringer ved 12.290 Bagn. Periode 1949-2023.



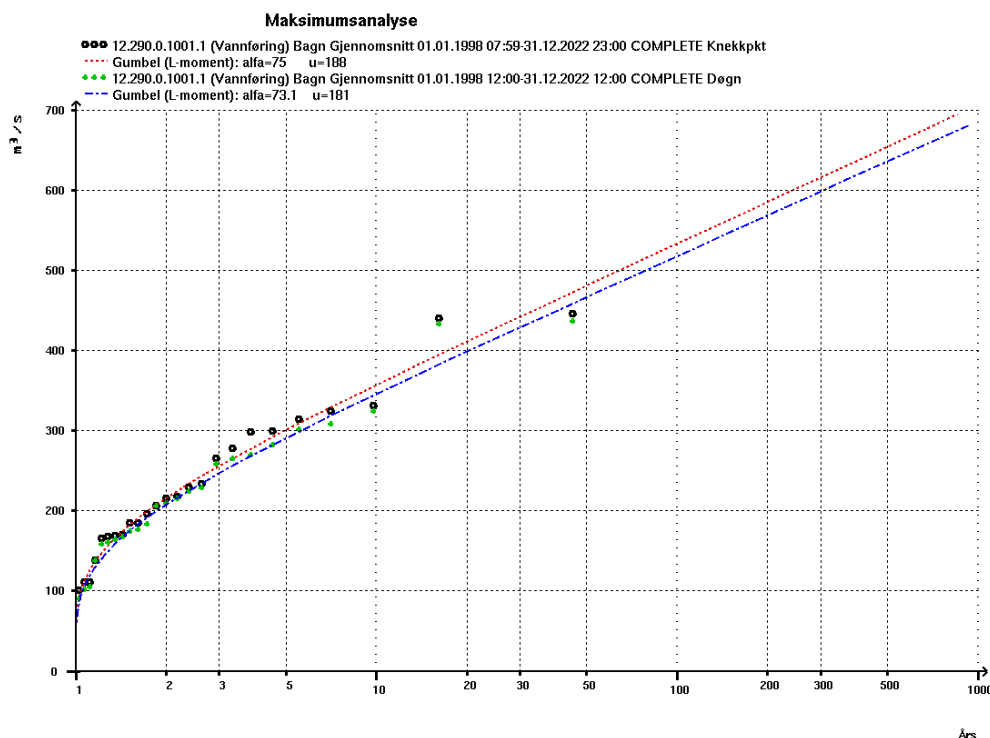
Figur 9 Flomfrekvensanalyse på årlige høyeste vannføringer for sammensatt serie for Aurdalsfjord. Periode 1981-2023.

2.4 Kulminasjonsvannføring

Analysene ovenfor er utført på døgndata fra NVEs database, som er en gjennomsnittsverdi for døgnet. Høyeste vannføring og vannstand i løpet av et døgn vil alltid være lik eller høyere enn gjennomsnittet. I nyere tid er NVEs døgndata basert på en gjennomsnittsberegning av findata (time-, halvtime- eller kvarters oppløsning). På 1960-80-tallet og tidligere ble ofte vannstandsobservasjoner utført én gang om dagen, og denne verdien ligger i dag til grunn som en døgnaverdi. Dette gjør at observasjoner fra denne perioden både kan være høyere eller lavere enn faktisk døgngjennomsnitt.

Om vi ser på data etter at det ble startet med systematisk registrering av vannstand flere ganger i døgnet ved Bagn (1998), så er forskjellen på en frekvensanalyse på vannføring at kulminasjonsverdiene er 3 % høyere enn døgnmiddelverdiene ved 200-årsflom (Figur 10). Under storflommen den 10. august 2023 var også kulminasjonsfaktoren på 1,03 (www.sildre.nve.no).

På grunnlag av dette er 200-års flomvannføring fra frekvensanalysen på døgndata oppskalert med 3 %. Dette gir en 200-års regulert flom ved Aurdalsfjorden på 618 m³/s. Merk at flomberegningene fra 2020 for Q₁₀₀₀ beregnet kulminasjonsverdi direkte, så der er det verdien fra flomberegningsrapporten som gjelder.



Figur 10 Frekvensanalyse på døg- og knekkpunktdata fra 12.290 Bagn. 1998-2022.

2.5 Vurdering av klimapåslag

I henhold til NVEs anbefalinger gitt i rapport 81-2016 skal det for store innlandsfelt på Østlandet som er dominert av vårflokker, ikke tillegges klimapåslag. Frem til flommen som følger av ekstremværet «Hans»

inntraff, ble Begna kategorisert som et vassdrag der vårflo er dominerende med tilhørende 0% klimapåslag.

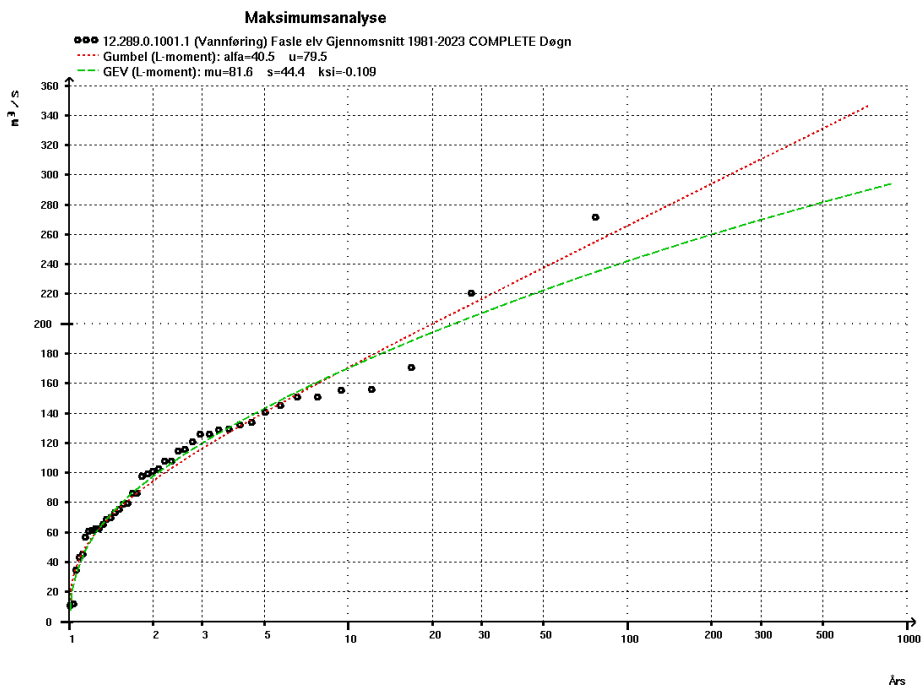
Det er imidlertid slik at selv om vårfloene har dominert, så kan det påregnes at i et fremtidig klima vil vassdraget også være mer utsatt for høstfloer, også som en konsekvens av at magasinene normalt har høyere fyllingsgrad på høsten. En frekvensanalyse uten floen i 2023 ga som resultat at regnfloer/høstfloer ved Bagn ble mindre enn vårfloene i Begna, selv med 20 % klimapåslag. Men floen under «Hans» har endret på dette. Dette var en ren regnflo (altså å regne som en høstflo), og floen ble den klart største ved Bagn siden 1949. Dermed kan det ikke lenger argumenteres for at de største floene ved Bagn er årsfloer/ vårfloer og ikke regnfloer.

Dette viser med all tydelighet hvor mye en enkelt flo kan påvirke en flomvurdering, og belyser også at floen i 2023 var en ekstremflo, ikke bare i størrelse, men også i form av når på året den kom. 20 % klimapåslag er derfor lagt til grunn ved 200-årsflo. Ved 1000-årsflo er det ikke lagt til klimapåslag på flomstørrelsen, da effekten av 25% tilstopping av lukeløpene (som ligger til grunn for flomverdien fra flomberegningen i 2020) er større enn effekten av 20 % klimapåslag på flomvannføringene (uten tilstopping). Dette er basert på kapasitetskurvene fra CFD-beregningene for dammen.

Merk også at floen i 2023 ga stor flomstigning i Strandefjorden (vannstand), men at den der «bare» var den nest høyeste etter 1949 (etter 1967) og den 7. høyeste etter 1921. For registrert vannstand i Strandefjorden siden oppstart av målingene beregnes floen til om lag en 20-årsflo. Som avløpsflo (vannføring ut av Strandefjorden) var 2023-floen den største observerte ved 12.289 Fasje elv (vannføring) siden målingene der startet i 1981. Et flomfrekvensplott (Figur 11)¹ tilsier at 2023-avløpsfloen kan ha vært i størrelsesorden 100 års gjentaksintervall.

Analysene av avløpsvannføring fra Strandefjorden fra 1981 tilsier dermed et større gjentaksintervall enn analyser for vannstand tilbake til tidlig 1900-tall, noe som ikke er overraskende. I tillegg til at dette belyser noe av usikkerheten i slike analyser, er det viktig å merke både at vannstandsserien er vesentlig lengre enn avløpsserien (og også dekker uregulert periode), samt at forskjellen også kan henge sammen med noe økt avløpskapasitet fra Strandefjorden etter regulering av vassdraget.

¹ Vannføring i Fasje foss kraftverk er ikke tatt med i analysen.



Figur 11 Frekvensanalyse årsflommer og høstflommer ved 12.289 Fasle elv.

2.6 Endelige flomstørrelser 200-årsflom og 1000-årsflom

Forutsetningene for de hydrauliske beregningene for Aurdalsfjorden blir på bakgrunn av beregningene og vurderingene ovenfor som vist i Tabell 4. Bagn kraftverk måtte stoppe under «Hans» på grunn av risiko for drukning av stasjonen ved avslag. Vi må derfor anta at kraftverket også står ved en 200-årsflom.

Tabell 4 Forutsetninger hydrauliske beregninger.

	Vst. Bagndammen moh NN2000	Flomvf. Aurdalsfjorden m ³ /s	Kommentar
2023-flommen	307,84	640	0 m ³ /s gjennom Bagn krv.
200-årsflom med klimapåslag	308,5	742	0 m ³ /s gjennom Bagn krv.
1000-årsflom	310,45	964	Bagn krv. står, delvis tilstopping av dam

2.7 Hydraulisk modell

Det er satt opp en hydraulisk modell for Aurdalsfjorden i HEC-RAS. Høydemodellen for Aurdalsfjorden fra like nedstrøms broa ved Sundvoll er basert på samme modell som Skred AS benyttet ved sine analyser i 2021, med oppmålte dybder for Aurdalsfjorden. Modellen er avsluttet et stykke oppstrøms selve Bagndammen, men dette har neglisjerbar betydning på grunn av stor vanndybde på denne strekningen. Fra Sundvoll og opp til Nørdre Kolhuset (ca. 1 km oppstrøms broa) er modellen forlenget og dybder er lagt inn fra NVEs innsjødatabase/dybdekart på denne strekningen. Høydegrunnlaget i modellen er NN2000, og alle høyder i resultater refererer til dette, med mindre annet er spesifisert.

Selve beregningsgriddet er satt opp med cellestørrelse på 10x10 m, og 5x5 m sentralt i elva. Tidsoppløsningen er satt til 0,5 s og ligningssett SWE-ELM. Øvre grensebetingelse er hhv. 200-års og 1000-års flomvannføring, mens nedre grensebetingelse er vannføringskurven for Bagndammen (korrigert til NN2000). Ved 1000-årsflom er det forutsatt kapasitetskurve inkludert delvis tilstopping, tilsvarende som i flomberegningen. Opp til ca. 540 m³/s er lukekapasiteten på Bagndammen stor nok til å holde vannstanden på HRV ved dammen. Mannings tall er satt til 45, og vi får da en vannstandsforskjell mellom Sundvoll og Bagndammen på 3,25 m ved 640 m³/s vannføring. Dette samsvarer brukbart med det observerte under 2023-flommen, selv om modellen overestimerer falltapet med 0,3-0,4 m. Et Mannings tall på 45 er vurdert som høyt, men ikke urealistisk ved stor flom. Det er likevel sannsynlig at Manningstallet kompenserer for unøyaktigheter i terrengmodellen, særlig gjennom Åskjerfossen.

Sundvoll bru (Figur 12) krysser Begna ved Sundvoll, og er lagt inn i den hydrauliske modellen, da broa vil stuve opp vannstanden på oppstrøms side. Data for Sundvoll bru er hentet fra Brutus.



Figur 12 Sundvoll bru 11.8.2023. Foto: Jon Olav Stranden.

3 Resultater

3.1 Flomvannstander Aurdalsfjorden

Beregnet flomvannstand (kulminasjon) for Aurdalsfjorden er vist i Tabell 5. Vi anbefaler å legge til en sikkerhetsmargin på 0,3 m på beregnede flomvannstander.

Vi bemerker at selv om vannføringen ved Q_{1000} er betydelig større enn ved Q_{200} , så blir beregnet vannstandsfor forskjell mellom Bagndammen og Sundvoll mindre ved Q_{1000} . Dette skyldes høy nedstrøms vannstand ved Q_{1000} , som gir økende strømningsareal i de trangere delene av Aurdalsfjorden.

Tabell 5 Resultater flomvannstander Aurdalsfjorden NN2000. Uten sikkerhetsmargin.

	Vst. Bagndammen moh	Vst. Sundvoll moh	Vst. Vøllarvang moh	Vannføring m ³ /s
200-årsflom (regulert)	308,5	311,63	311,83	742
1000-årsflom (uregulert)	310,45	313,05	313,13	965

3.2 Vurdering av datagrunnlag, usikkerhet og sensitivitet

Det vil alltid være knyttet usikkerhet til målte data. Målt vannføring ved Bagn, like nedstrøms Aurdalsfjorden, er oppgitt i NVEs database å ha meget god kvalitet ved flom. Datakvalitetsklassen på det hydrologiske grunnlaget settes derfor til 1 (godt hydrologisk datagrunnlag).

Den hydrauliske modellen er kalibrert for vannføringer over 200-årsflom med et avvik på ca. 0,3 m til observasjonene og den hydrauliske modellen er derfor i kvalitetsklasse A i henhold til NVEs veileder 3-2023. Hydraulisk-hydrologisk datakvalitet A-1 tilsier i henhold til samme veileder en sikkerhetsmargin på vannføringen på 5 %. Ved kjøring av denne vannføringen i modellen ved Q_{200} fås en økning i flomvannstanden ved Sundvoll/ Vøllarvang på ca. +0,15 m. Tilsvarende økning ved Q_{1000} er på +0,2-0,25 m. Det er også kjørt en analyse der Mannings tall er satt til 40, i stedet for 45. Ved Q_{200} gir dette 0-0,1 m høyere vannstand ved Sundvoll.

Andre faktorer som påvirker vannstanden langs innsjøer er vindoppstuvning og bølgeoppskylning. Denne effekten vil variere avhengig av strøk, vindretning og topografi i strandsonen.

På bakgrunn av sensitivitetsanalysen og vurderinger av usikkerhet anbefales en sikkerhetsmargin på 0,3 m på de beregnede vannstandene.

Resultatene er både angitt i høydesystem NN1954 og NN2000, men der NVE-data er basert på informasjon fra NVEs datasystem Hydra II (NN1954). Om man tar ut terrenghøyder fra www.hoydedata.no så er disse som regel oppgitt i NN2000. Forskjellen mellom høydesystem NN1954 og NN2000 er ifølge nærmeste fastmerker på 11 cm:

$$NN2000 = NN1954 + 0,11 \text{ m}$$

4 Referanser

1. Norconsult (2020). *Flomberegninger. Begnavassdraget. Dammene Vangsmjøsa, Slidrefjord, Strandefjord og Aurdalsfjord (Bagn)*. Oppdragsrapport 5136342_begna_E03.

2. NVE (2014). *Flomsonekart. Delprosjekt Fagernes*. Rapport 69-2014.
3. Skred AS (2021). *Flomfarevurdering Aurdal Fjordcamping*. Oppdragsrapport 21386-01-1.