



Flomberegning for Audna ved Vigeland, 023.Z

Erik Holmqvist

11
2010



D
O
K
U
M
E
N
T

Flomberegning for Audna ved Vigeland

Norges vassdrags- og energidirektorat

2010

Dokument nr. 11 – 2010.

Flomberegning for Audna ved Vigeland, 023.Z

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Erik Holmqvist

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 30

Forsidefoto: Målestasjonen 23.8 Gaupefossen i Audna.
Foto: Vibeke Svenne, NVE-HH.

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: Det er utført flomberegninger for Audna ved Vigeland som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, flomsonekartprosjektet.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

November 2010

Innhold

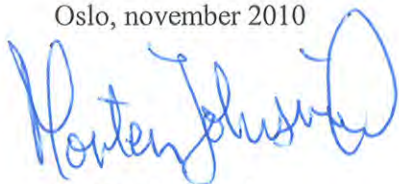
Forord	4
Sammendrag	5
1. Beskrivelse av oppgaven	6
2. Beskrivelse av vassdraget	6
3. Hydrometriske stasjoner	10
4. Flomanalyser	13
4.1 Observerte flommer	13
4.2 Midlere flom	15
4.3 5- til 500-årsflom	18
4.4 Kulminasjonsverdier	21
5. Forholdet til tidligere flomberegninger	24
6. Usikkerhet	25
Referanser	26

Forord

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

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med flomsonekartlegging for nedre del av Audna i Vest-Agder. Rapporten er utarbeidet av Erik Holmqvist og kvalitetskontrollert av Ingeborg Kleivane.

Oslo, november 2010



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen omfatter prosjektet fs 023_2 Vigeland i Audna som er en del av NVEs farekartlegging. I Audna er det er høst- og vinterflommer som dominerer. Vannføringen er vanligvis minst i sommermånedene. Resultatene av analysene er sammenfattet i tabell 1.

Vannføringsstasjonen 23.8 Gaupefossen, som ligger i Audna omkring 5 km nord for Vigeland, ble satt i drift i 1988. Data fra denne stasjonen har imidlertid ikke vært tilgjengelige på NVEs database før høsten 2008. Disse nye dataene gir et bedre grunnlag enn tidligere for flomanalyser i Audna. Den største observerte flommen i Audna var i desember 1992, den er beregnet til en 20 – 50 års flom. I januar 2008 var det en ny relativt stor flom i vassdraget, den hadde et gjentakintervall på 5 – 10 år.

I flomberegningen for Audna er det antatt et forholdstall på ca. 1,2 mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer.

Tabell 1. Kulminasjonsvannføringer med gjentakintervall opp til 500 år. Verdiene er avrundet til nærmeste 10 m³/s.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Audna ved 23.8 Gaupefossen	344	140	170	200	220	280	300	340	370
Audna ved Vigeland	413	170	210	240	260	320	360	390	430
Audna ved utløp i Sniksfjorden	455	180	230	260	290	360	390	430	480

I en klassifisering fra 1 til 3, hvor 1 tilsvarer beste klasse, vil disse beregningene gis klasse 2.

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for en strekning på 5-6 km i den nedre delen av Audna. Tettstedet Vigeland ligger i dette området. Delprosjektets nummer og navn i NVEs flomsonekartprosjekt er fs 023_2 Vigeland. Som grunnlag for denne konstruksjonen er midlere flom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnet.

I tabell 2 er det gitt en oversikt over hvilke punkter i vassdraget det er gjennomført beregninger for.

Tabell 2. Nedbørfelt.

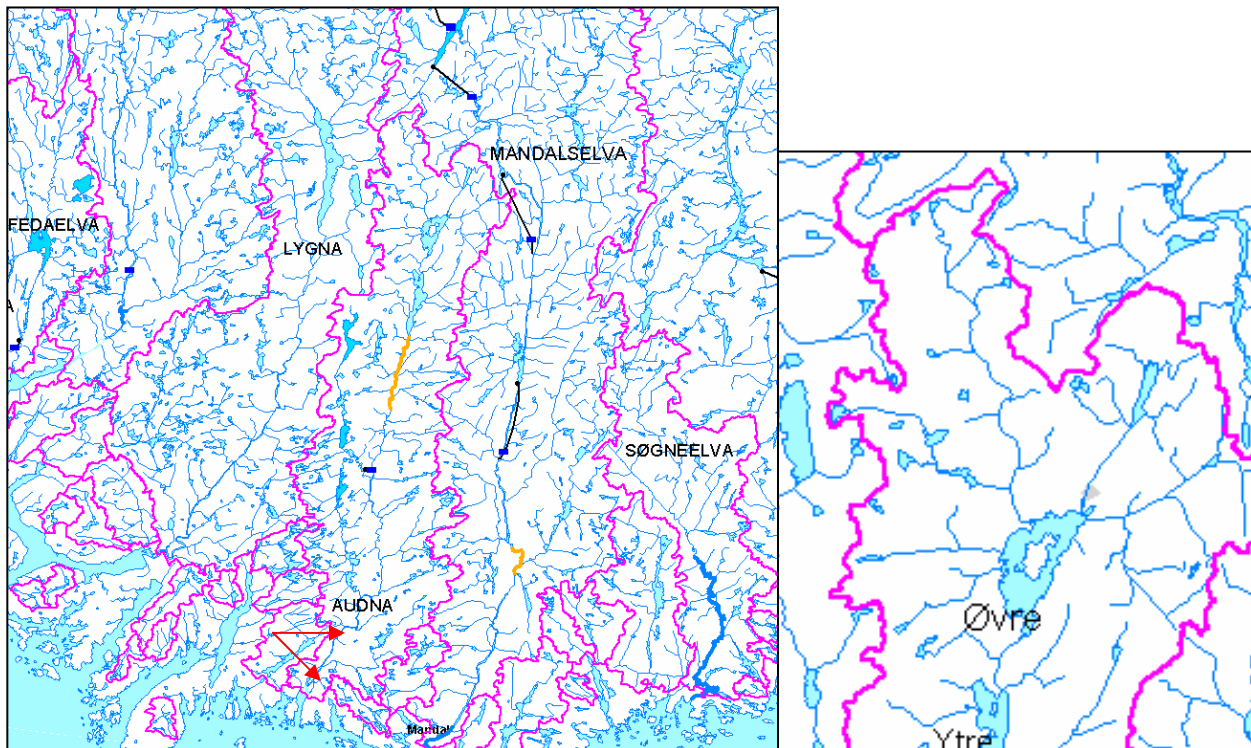
	Areal (km ²)
Audna ved Gaupefossen målestasjon	344
Audna ved Vigeland	413
Audna ved utløp i Sniksfjorden	455

2. Beskrivelse av vassdraget

Audna har en utstrekning nord - sør på 50 km og øst - vest på omkring 10 km (figur 1 og 2). Nedbørfeltet er 455 km² ved utløp i Sniksfjorden og er dominert av et småkupert skogsterreng som i hovedsak ligger mellom 100 og 500 moh (figur 3). I øst og nord avgrenses nedbørfeltet av Mandalsvassdraget og i vest av Lygna.

Det er flere relativt store innsjøer i vassdraget som har en flomdempende effekt. De største er Øvre og Ytre Øydnvatn som ligger i øvre del av vassdraget. De har innsjøareal på henholdsvis 3,1 og 3,2 km². Fra Øvre Øydnvatn (112 moh.) renner elva en strekning på nesten 2 km før den når Ytre Øydnvatn (96 moh.). Ved utløp av Ytre Øydnvatn har Audna et nedbørfelt på 135 km². Herifra renner Audna gjennom tettstedene Audnedal, Helle, Konsmo og Seland. Dette området er tidligere kartlagt i forbindelse med flomsonekart for Konsmo.

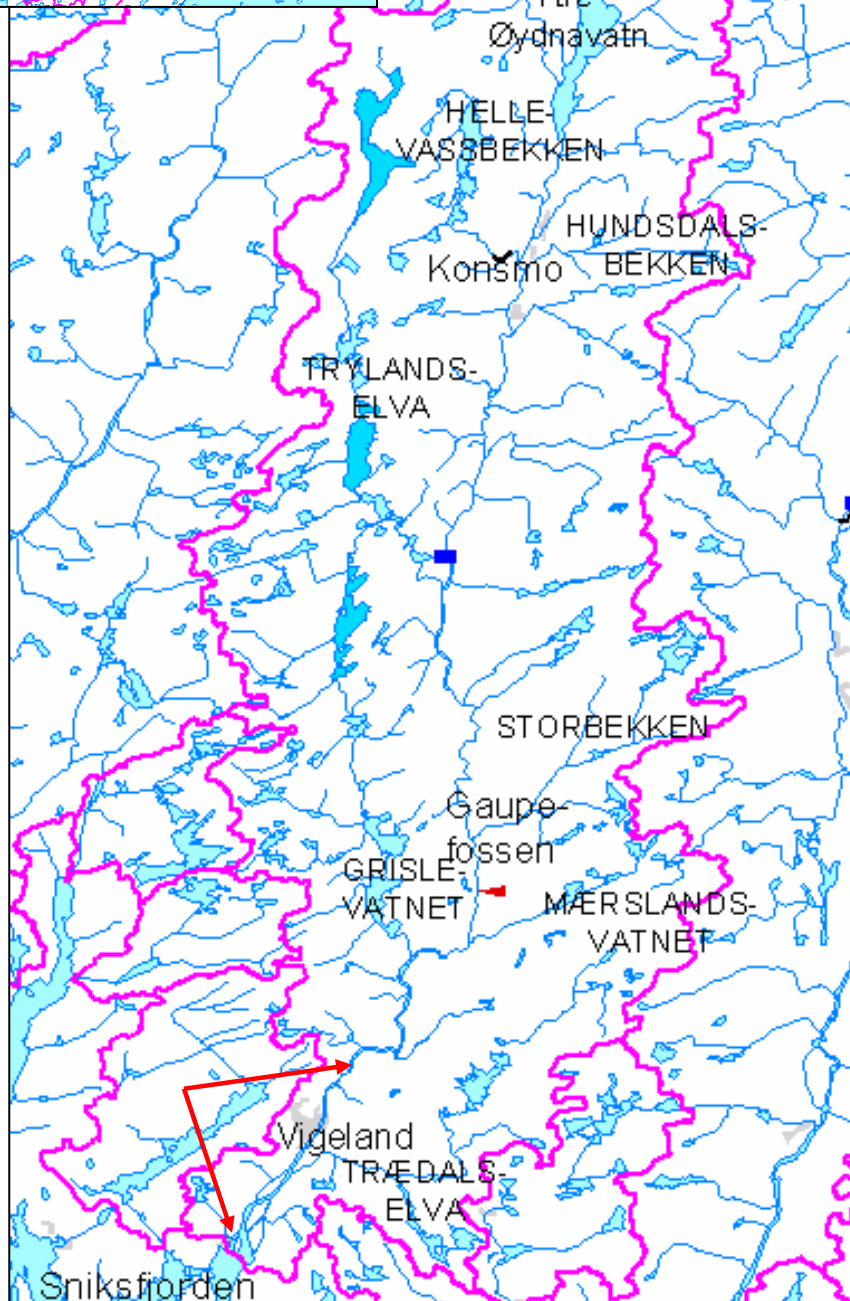
På strekningen ned til Konsmo får Audna tilløp fra blant annet Hellevassbekken fra vest og Hundsdalsbekken fra øst. Nedbørfeltet til Hellevassbekken er 16,2 km², også her er det en relativt stor innsjø, Hellevatn med et areal på 1,1 km². Nedbørfeltet til Hundsdalsbekken er 9,1 km².

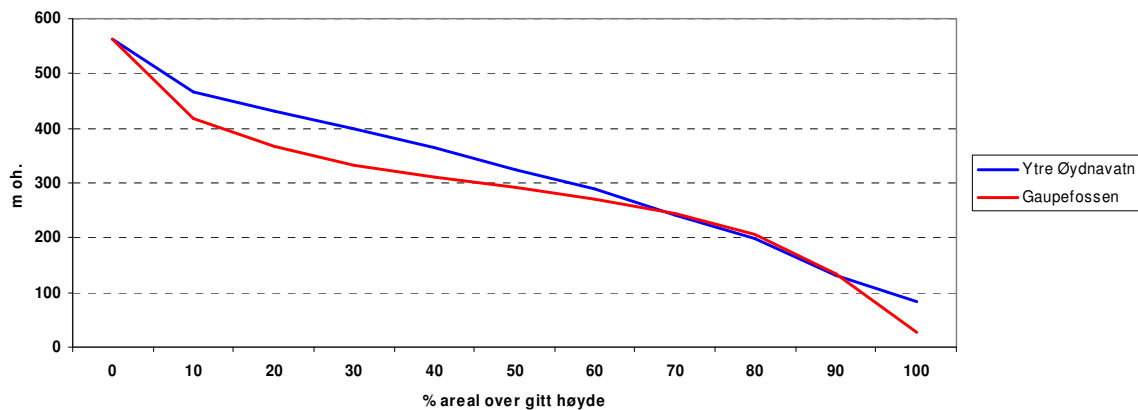


Figur 1. Oversiktskart over Audna og de største naboelvene. Området som er omfattet av denne kartleggingen er markert med røde piler. Tidligere kartlagte områder er markert med oransje (Audna og Mandalselva) eller blått (Søgneelva).

Kraftverk i området er markert med blå firkanter, overføringer med svarte streker, magasiner med en dyp blå farge og nedbørfeltgrenser med rosa strek.

Figur 2. Audna med noen av de største innsjøene og sideelvene. Tryland kraftverk er markert med blå firkant. Målestasjonen Gauefossen er markert med en rød trekant. Området som skal flomsonekartlegges er markert med røde piler.





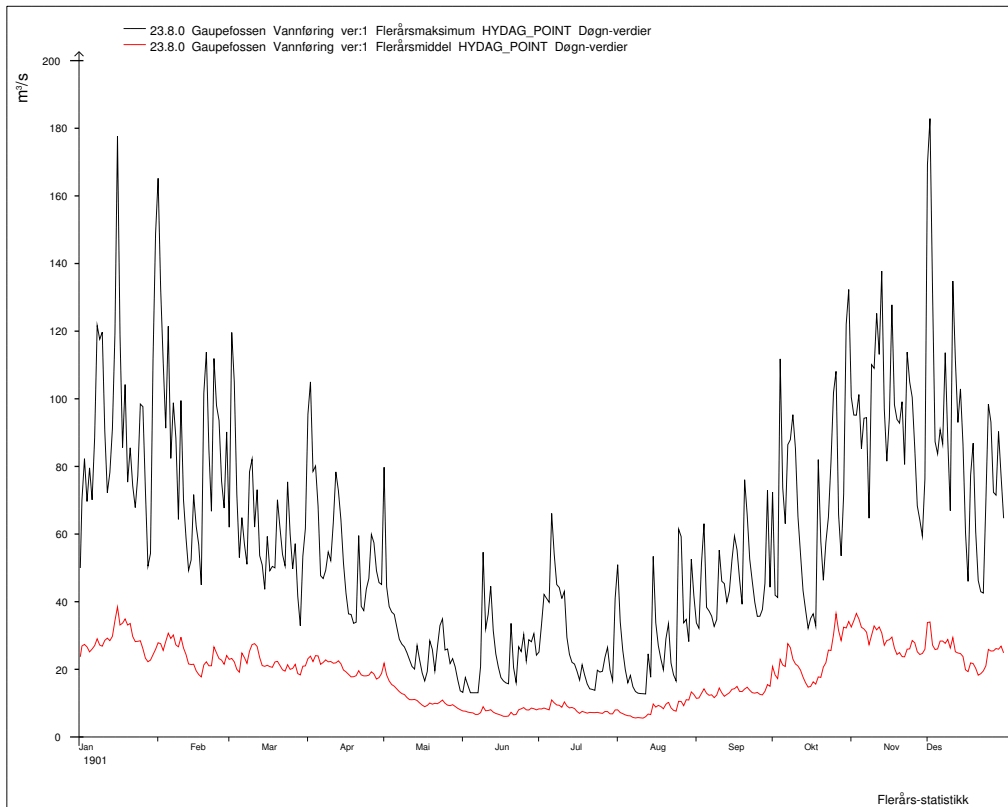
Figur 3. Hypsografisk kurve for Audna ved utløp av Ytre Øydnavatn (blå) og Gaupefossen (rød).

Omkring 6-7 km lengre sør renner Trylandselva ut i Audna. Trylandselva har et nedbørfelt på 61 km². Denne elva har vært utnyttet til kraftproduksjon i Tryland kraftverk siden 1921. Inntaket ligger i Krossstjørna på ca. kote 170. Det er tre større magasiner i denne delen av vassdraget, Sundsvatn (HRV= 331,02 moh.), Eptevatn (HRV = 231,92 moh.) og Lelandsvatn (HRV = 195,79 moh.). Magasinene har et samlet volum på 27,5 mill m³. Det gir en reguleringsgrad, som er midlere årlig tilsig dividert med magasinvolument, på ca. 30 prosent for Tryland kraftverk.

Fra samløpet med Trylandselva, renner Audna ytterligere omkring 20 km før den når tettstedet Vigeland og deretter renner ut i Sniksfjorden. På strekningen ned til Vigeland er de største tilløpene Storbekken med et nedbørfelt på 22 km², en bekk fra Mærlandsvatn (12 km²) og elva fra Grislevatnet (30 km²). I Audna, mellom utløpet av Storbekken og bekken fra Mærlandsvatn, ligger den hydrologiske målestasjonen 23.8 Gaupefossen. Nedbørfeltet her er 344 km². Ved Vigeland er nedbørfeltet økt til 412 km². Nedstrøms Vigeland er det største tilløpet fra Trødalselva (34 km²). Audnas totale nedbørfelt ved utløp i havet er 455 km².

Midlere spesifikt årsavløp (1961-90) øker fra 30 l/s km² nær kysten til 45–55 l/s km² i de øvre delene av Audnas nedbørfelt. Midlere årsavløp for Audna ved utløp av Ytre Øydnavatn er ca. 6 m³/s, ved Gaupefossen ca. 16 m³/s og ved utløp i havet omkring 20 m³/s. Observasjonene ved Gaupefossen fra 1989 – 2009 gir et midlere årsavløp på ca. 18 m³/s. Det er mer enn det avrenningskartet gir, og det er en indikasjon på at de siste årene har vært mer nedbørrike enn årene i forrige normalperiode. Også andre stasjoner i området antyder det samme.

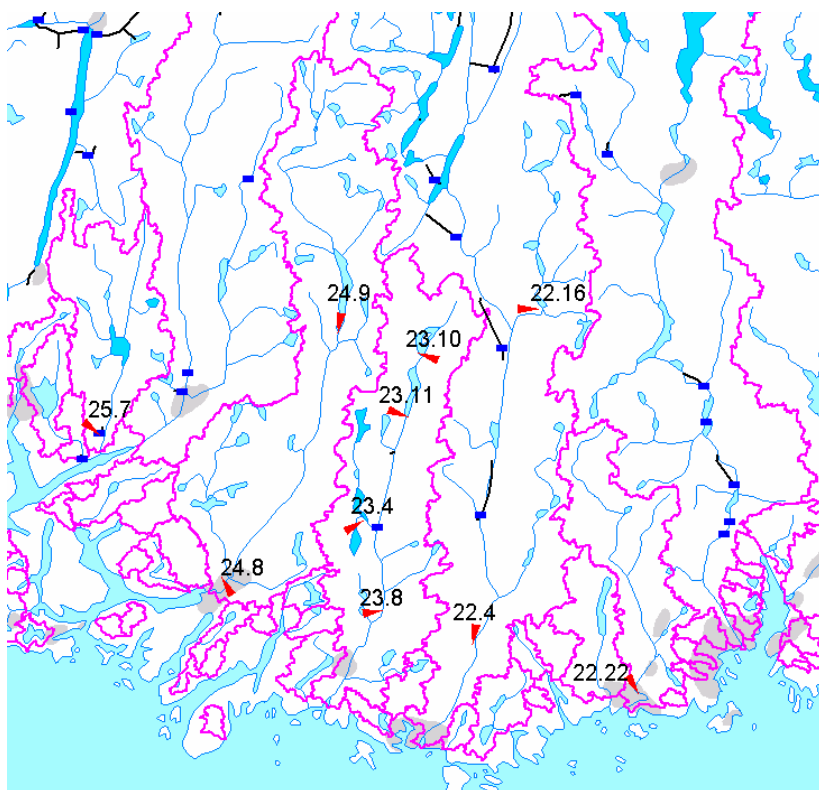
Figur 4 viser at vannføringen i Audna vanligvis er lavest om sommeren og størst i vinterhalvåret. Dette er typisk for lavereliggende vassdrag på denne kanten av landet. Flommer forekommer hyppigst seint på høsten og om vinteren og er forårsaket av intenst regn, ofte i kombinasjon med snøsmelting.



Figur 4. Vannføring i m³/s i Audna ved Gaufefossen. Det er gjennomsnitt og flerårsmaksimum (døgnmidler) for årene 1989 -2009 som er vist. 1993 er utelatt på grunn av observasjonsbrudd.

3. Hydrometriske stasjoner

I kartet nedenfor (figur 5) er beliggenheten til avløpsstasjoner i og i nærheten av Audna vist. Noen sentrale feltparametere for stasjonene er gitt i tabell 3. Avløpsstasjonene er kort kommentert i dette kapitlet.



Figur 5. Hydrologiske målestasjoner i og nær Audna. Kraftverk i området er markert med blå firkanter, overføringer med svart strek, magasiner med mørk blå farge og nedbørfeltgrenser med rosa strek.

22.4 Kjølemo ligger i Mandalselva 12-13 km før utløpet i havet. Stasjonen har vært i drift siden 1896, og har vært påvirket av reguleringer siden 1930-tallet. Nedbørfeltet er 1757 km² og dekker dermed 97 prosent av Mandalsvassdraget.

Selv om vannføringen om våren er betydelig redusert som følge av reguleringene i vassdraget, er ikke midlere flom vesentlig endret. Det skyldes at det ofte er flom om høsten når magasinene har god fylling (NVE-dok. 19-2003).

Det er utført vannføringsmålinger for vannføringer opp mot 490 m³/s. Det er mellom midlere og 5-årsflom. Vannføringskurven for stasjonen antas derfor å være godt bestemt for flomvannføringer.

Tabell 3. Feltparametere for avløpsstasjoner benyttet i analysene.

Stasjon	Periode	Areal (km ²)	Normalavløp (l/s km ²)	Sjøprosent (%)	Effektiv sjøprosent (%)	Medianhøyde
22.4 Kjøleemo	1896-dd	1757	47	7,9	0,5	560
22.16 Myglevatn ndf.	1951-dd	182	45	5,5	1,5	447
22.22 Søgne	1974-dd	206	30	4,1	0,05	199
23.4 Brådlandsvatn	1922-dd	58,9	49	12,3	3,0	310
23.8 Gaupefossen	1988-dd	344	46	6,6	0,8	292
23.10 Øvre Øydnavatn	1985-93	90	46	5,9	3,4	350
23.11 Ytre Øydnavatn	1985-93	135	46	6,8	4,0	324
24.8 Møska	1978-dd	121	50	9,1	1,5	314
24.9 Tingvatn	1922-dd	272	61	9,5	3,0	589
25.7 Refsti	1898-dd	202	55	9,8	1,9	290

22.16 Myglevatn ndf ligger i Kosåna, en uregulert sidegren til Mandalselva omkring 45 km inn i landet. Stasjonen har vært i drift siden 1951. I 2006 ble det utført vannføringsmålinger ved høyere vannstander enn tidligere. Dette ga grunnlag for å revidere vannføringskurven, noe som ga reduserte flomvannføringer. Midlere flom ble for eksempel redusert fra nesten fra nesten 70 m³/s til drøyt 50 m³/s. Største vannføringsmåling er ved 44 m³/s. Flomverdiene for Myglevatn i denne rapporten avviker derfor vesentlig fra de som for eksempel er presentert i "Flomberegning for Audna ved Konsmo" (NVE-dok. 2-2006).

22.22 Søgne ligger i Søgneelva et par kilometer før utløpet i fjorden. Stasjonen ble opprettet i 1973 i forbindelse med vannkvalitetsundersøkelser. På tross av mange år (1985-2000) med foreløpige data ved stasjonen, antas flomverdiene å være pålitelige. Største vannføringsmåling ved stasjonen er på 116 m³/s (des. 1992), som er på nivå med 10- til 20-årsflom. Stasjonen er nærmere omtalt i forbindelse med flomberegninger for Søgneelva (NVE dokument 16-2002).

23.4 Brådlandsvatn ligger i Trylandselva, en sidegren til Audna. Stasjonen har vært i drift siden 1922. Stasjonen ble opprettet i forbindelse med byggingen av Tryland kraftverk. Stasjonen gir totalvannføringen i Trylandselva. Vannføringen ved stasjonen

er påvirket av reguleringene oppstrøms. Det er foretatt vannføringsmålinger ved stasjonen på opp mot 13 m³/s eller drøyt 60 prosent av midlere flom.

23.8 Gaupefossen ligger i Audna omkring 5 km nord for Vigeland og 10 km før Audnas utløp i havet. Stasjonen ble opprettet i 1988. Det er utført vannføringsmåling ved vannføringer opp til 90 m³/s, det tilsvarer omkring 80 prosent av midlere flom. Målingen ble gjennomført 20. november 2009 i forbindelse med det pågående flomsonekartarbeidet.

Observasjonene ved Gaupefossen var tidligere kun lagret hos Agder Energi, men ble tilgjengelig på NVEs database høsten 2008. Leiv Gunnar Ruud (NVE,HH) har gjennomgått en rekke limnigrammer og digitalisert disse. Vi har derfor nå et vesentlig bedre datagrunnlag for flomanalyser i Audna enn tidligere.

23.10 Øvre Øydnavatn ligger i Audnavassdraget. Stasjonen var i drift fra 1985-1993. Det er foretatt vannføringsmålinger ved stasjonen for vannføringer opp til 6 m³/s, som tilsvarer snaut 30 prosent av midlere flom. Flomverdiene ved stasjonen må antas å være nokså usikre.

23.11 Ytre Øydnavatn ligger i øvre del av Audnavassdraget. Stasjonen var i drift fra 1985 til 1993. I mai 2006 ble det foretatt en vannføringsmåling ved stasjonen på 21 m³/s, det tilsvarer nesten 50 prosent av midlere flom. Flomverdiene ved stasjonen antas å være nokså usikre.

24.8 Møska ligger i Møska som løper sammen med Lygna rett før denne renner ut i Lyngdalsfjorden. Stasjonen ble opprettet i 1978. Vannføringsmålinger er gjennomført for vannføringer opp mot 100 m³/s, mens midlere flom ikke er større enn 55 m³/s. Det er relativt godt samsvar mellom vannføringsmålinger og vannføringskurve. Flomverdiene ved stasjonen antas derfor å være pålitelige.

24.9 Tingvatn ligger i Lygna omkring 45 km inn i landet. Stasjonen har data fra 1922. Vannføringskurven for stasjonen gir drøyt 10 – 20 prosent større vannføring enn de største vannføringsmålingene skulle tilsi. Det kan bety at flomverdiene ved stasjonen er noe overestimert. Største vannføringsmåling er ved 117 m³/s (mai 2006), som er på nivå med midlere flom.

25.7 Refsti ligger i Fedaelva. Stasjonen har data tilbake til 1898, men var nedlagt fra 1976 til 1991. Vassdraget har vært påvirket av vannkraftregulering siden 1896, det vil si i hele måleperioden. Reguleringsgraden er på ca. 4 prosent. Det er et krav om minstevannføring på 1,1 m³/s ved stasjonen, og stasjonen har vært benyttet til kontroll av dette pålegget. Midlere flom ved stasjonen er 67 m³/s, mens største vannføringsmåling er fra oktober 2008 med drøyt 100 m³/s. Vannføringskurven viste da en vannføring som var 5- 10 prosent lavere.

4. Flomanalyser

4.1 Observerte flommer

I tabell 4 er det gitt en oversikt over de største observerte flommene ved målestasjonen 23.8 Gaupefossen. Ved to av de største flommene, den i 1990 og i 1992, stanget flottøren i gulvet til instrumentkassen og limnigrafen ble satt under vann. Kulminasjonsvannføring og døgnmiddel ved disse to hendelsene er rekonstruert etterpå og er derfor noe mer usikre enn de øvrige. Flommen i desember 1992 er antatt å ha kulminert med drøyt 230 m³/s (figur 6), ut fra analysene senere i rapporten tilsvarer dette 20 – 50 års flom.

Den nest største observerte flommen ved Gaupefossen var i januar 2008 (figur 7). Denne gangen fikk man registrert hele flomforløpet. Limnigrafen var nå utstyrt med et lengre stigerør slik at stasjonen tålte høyere flomvannstander enn tidligere (pers. med. Leiv Gunnar Ruud, NVE-HH). Maksimal vannføring var ca. 190 m³/s. Denne flommen i Audna var forårsaket av kraftig nedbør i kombinasjon med snøsmelting. Det samme har vært tilfelle ved mange andre flommer i vassdraget.

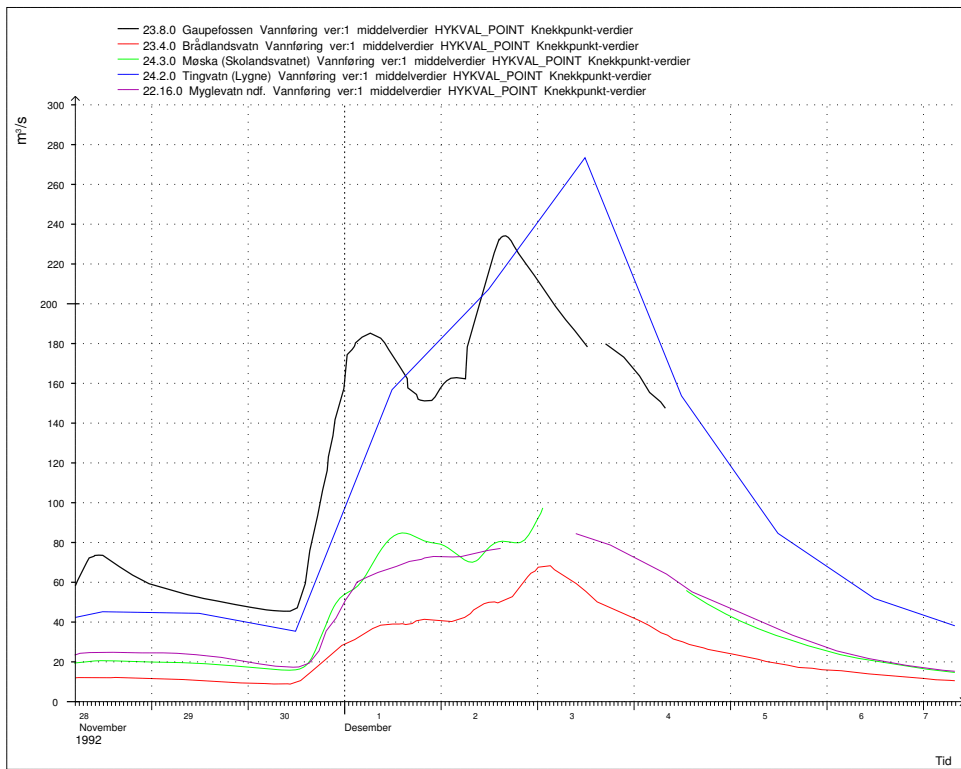
Tabell 4. De 5 største flommene i Audna ved målestasjonen 23.8 Gaupefossen 1989- 2008.

Dato	Kulminasjon m ³ /s	Døgnmiddel m ³ /s
03.12.1992	234	183
16.01.2008	191	178
01.02.1990	175	165
11.12.2006	173	135
04.10.2004	169	112

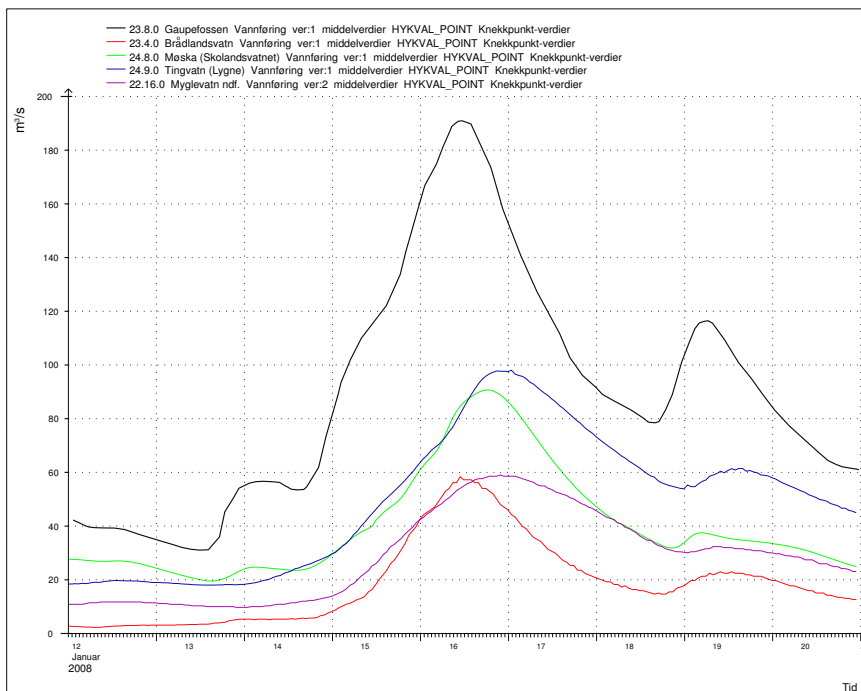
Også ved mange andre målestasjoner på Sørlandet, som for eksempel 24.8 Møska, 24.9 Tingvatn og 22.16 Myglevatn, var flommen i desember 1992 den største registrerte. Ved Tingvatn er det 82 år med observasjoner. Her har imidlertid vannstanden kun vært avlest en gang per dag. Rangeringen av flommene ved stasjonen er derfor usikker.

For flommen i januar 2008 er det beregnet gjentaksintervall på 2-5 år for Myglevatn og 20-30 år for Møska (Holmqvist og Pettersson, 2008). I Audna er det antatt at denne flommen hadde et gjentaksintervall på 5- 10 år (se neste kapittel).

Den største spesifikke avrenning som er registrert i Audnavassdraget er fra oktober 1929, hvor avløpet fra Brådlandsvatn tilsvarte en avrenning på nærmere 1100 l/s km². Til sammenligning var avrenningen i Audna ved Gaupefossen under flommen i desember 1992 på drøyt 530 l/s km² (døgnmiddel).



Figur 6. Flommen i desember 1992 på Sørlandet. Observert vannføring i m³/s for Gaupfossen (svart), Tingvatn (blå), Møska (grønn), Myglevatn (lilla) og Brådlandsvatn (rød). Ved Tingvatn er data avlest en gang pr. døgn.



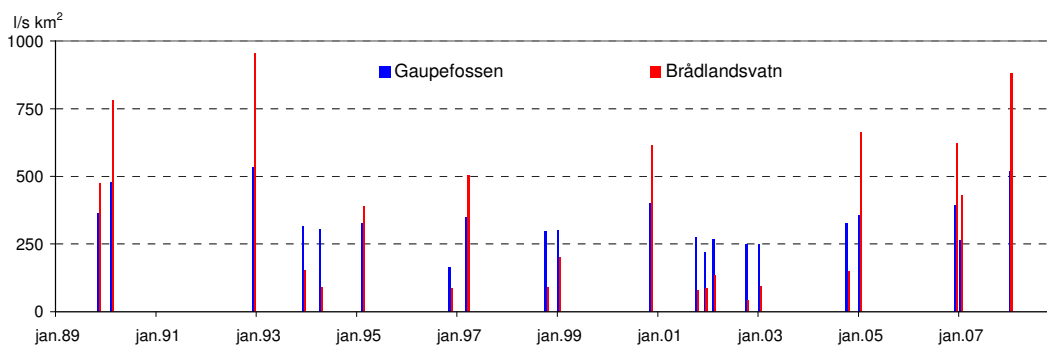
Figur 7. Flommen i januar 2008 på Sørlandet. Observert vannføring i m³/s for Gaupfossen (svart), Tingvatn (blå), Møska (grønn), Myglevatn (lilla) og Brådlandsvatn (rød).

4.2 Midlere flom

For å bestemme en representativ verdi for døgnmiddelflom i nedre del av Audna er både flomdata fra vassdraget og nabovassdrag analysert (tabell 5). I tillegg er regionale flomformler benyttet.

20 år med data fra målestasjonen Gaupefossen i Audna gir en midlere spesifikk flom på 333 l/s km². Det er imidlertid grunn til å tro at reguleringene i Trylandelva, en sidegren til Audna, medfører en viss flomreduksjon i hovedvassdraget. Ved målestasjonen Brådlandsvatn, som ligger i den regulerte Trylandselva, gir 85 år med data en midlere flom på 353 l/s km². I figur 8 er samtidige flomvannføringer vist for stasjonene Gaupefossen og Brådlandsvatn fra 1989 til 2008. Figuren viser at ved små flommer (< ca. 300 l/s km²) er spesifikk vannføring mindre i Trylandselva enn i hovedelva. Ved større flommer er situasjonen motsatt, større spesifikk flom i den regulerte delen av vassdraget enn i Audna. Det tyder på at ved små flommer har magasinene i Trylandelva en flomdempende effekt, mens ved litt større flommer er virkningen borte, sannsynligvis på grunn av fulle magasiner.

Fra 1989 til 2008 er det 9 år hvor spesifikk flom er høyere ved Gaupefossen enn Brådlandsvatn. I gjennomsnitt for disse årene er midlere flom ved de to stasjonene henholdsvis 278 og 119 l/s km². Hvis en antar at differansen mellom disse tilsvarer flomdempningen i det regulerte vassdraget, utgjør det i gjennomsnitt for disse årene 9,4 m³/s ((278-119) l/s km² · 58,9 km²). Fordeles dette på hele den 20 år lange serien til Gaupefossen, vil midlere flom øke fra ca. 115 til 119 m³/s og midlere spesifikk flom fra 333 til 346 l/s km².



Figur 8. Flommer i l/s km² ved målestasjonene 23.8 Gaupefossen og 23.4 Brådlandsvatn. Brådlandsvatn ligger i Trylandselva, en regulert sidegren til Audna oppstrøms Gaupefossen.

Høyere opp i Audnas nedbørfelt ligger målestasjonene Ytre og Øvre Øydnavatn. Disse er ikke påvirket av noen reguleringer. Her gir 9 år med observasjoner midlere flom på henholdsvis 333 og 233 l/s km². For Øvre Øydnavatn, som ligger oppstrøms Ytre Øydnavatn, er det antatt at flomverdiene er underestimert (NVE-dok. 2-2006). Nedbørfeltene til begge disse stasjonene har vesentlig høyere effektiv sjøprosent enn

feltet til Gaupefossen. Det er derfor rimelig om spesifikk flom her er noe lavere enn lenger ned i vassdraget.

For øvrige nabostasjoner varierer midlere flom fra omkring 240 til 460 l/s km². For Kjølemo i Mandalselva, som har et betydelig større nedbørfelt enn de øvrige, er midlere spesifikk flom minst med ca. 240 l/s km². Det er nabostasjonene Møska og Refsti som har nedbørfeltkarakteristika som er likest dem man har for Gaupefossen (tabell 3). Alle feltene har en medianhøyde på ca. 300 moh, men nedbørfeltene til Refsti og Møska er noe mindre, ligger noe nærmere kysten, har noe høyere årsavrenning og høyere effektiv sjøprosent enn nedbørfeltet til Gaupefossen. Disse forholdene trekker i hver sin retning med hensyn på spesifikk flom. For Refsti og Møska er midlere flom omkring 341 og 464 l/s km². Flommene ved Refsti er sannsynligvis noe dempet på grunn av oppstrøms regulering.

For Audna ved Gaupefossen er midlere flom også beregnet ved hjelp av regionale flomformler. Formlene er gitt i NVE-1978 og NVE-1997. I tabell 6 er parametrene som inngår i beregningene oppgitt. Formlene gir en variasjon i midlere spesifikk flom fra 250 til 400 l/s km² (tabell 7).

Tabell 5. Midlere flom, det er årsflommer som er analysert.

* For Øvre og Ytre Øydnavatn er ikke observasjonene komplette.

Stasjon	Periode	Antall år	Areal (km ²)	Midlere flom (m ³ /s)	Midlere flom (l/s·km ²)
22.4 Kjølemo, reg.	1896-07	111	1757	428	244
22.16 Myglevatn ndf.	1952-07	56	182	53	290
22.22 Søgne	1974-08	35	206	80	390
23.4 Brådlandsvatn, regulert	1923-07	85	58,9	20,8	353
23.8 Gaupefossen	1989-09	20	344	115	333
23.11 Ytre Øydnav.	1985-93	9*	135	45	333
23.10 Øvre Øydnav.	1985-93	9*	90	21	233
24.8 Møska	1979-08	28	121	56	464
24.9 Tingvatn	1922-07	82	272	120	439
25.7 Refsti, reg.	1898-09	95	202	69	342

Ut fra analysene over er det for et naturlig uregulert vassdrag antatt en midlere flom ved Gaupefossen på 350 l/s km² (120 m³/s), mens data fra de siste årene gir en midlere flom i det regulerte vassdraget på 333 l/s km² (115 m³/s). For flommer med gjentaksintervall til og med 20 år benyttes data fra det regulerte vassdraget, mens for sjeldnere flommer legges "naturlig" middelflom til grunn i de videre beregningene.

Det er et lokalfelt på 111 km² nedstrøms Gaupefossen som drenerer til Audna. Feltet ligger nær kysten og i hovedsak under 200 moh. Observasjoner fra målestasjonen 22.22 Søgne er benyttet for å vurdere tilsiget fra dette arealet ved flom i Audna.

Nedbørfeltet til Søgne har en medianhøyde på ca. 200 moh. Midlere spesifikk vannføring ved Søgne for de dagene som inngår i flomserien fra Gaupefossen er ca. 350 l/s km². Ut fra dette antas også et tilsig på 350 l/s km² for lokalfeltet nedstrøms Gaupefossen ved midlere flom i Audna.

Det medfører at ved midlere flom øker døgnmiddelvannføringen i den regulerte Audna fra 115 m³/s ved Gaupefossen, til 139 m³/s ved Vigeland og 153 m³/s ved utløp i fjorden (tabell 8). Hvis vassdraget hadde vært uregulert, ville de midlere flomvannføringene vært ca. 5 m³/s større.

Tabell 6. Parametere for beregning av midlere flom basert på regionale flomformler

	Areal (km ²)	Effektiv sjøpr. (%)	Feltakse (km)	Normal nedbør (mm)	Normal avrenning (l/s km ²)	Sjøpros. (%)
Gaupefossen	344	0,76	39,1	ca. 2000	ca. 48	6,6

Tabell 7. Midlere spesifikk flom for Audna ved Gaupefossen basert på observasjoner og regionale flomformler.

	Obs. 1989-08 l/s km ²	K1 l/s km ²	K2 l/s km ²	Å1 l/s km ²
23.8 Gaupefossen	456	250	400	300

K1, K2 og Å1 referer seg til områder med årsflom gitt i NVE-1997 og NVE-1978.

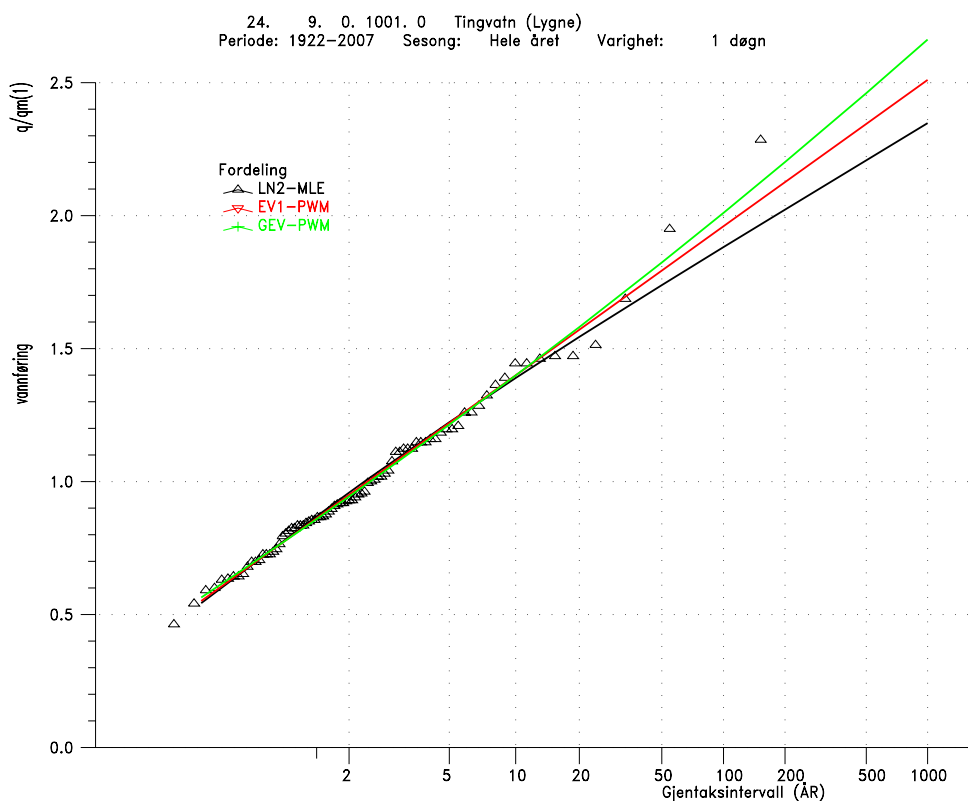
Tabell 8. Midlere flom i Audna, døgnmidler. I øvre halvdel av tabellen er det gitt verdier for det naturlige vassdraget, i nedre for Audna etter regulering, dvs. dagens forhold.

	Areal (km ²)	Midlere flom (l/s km ²)	Midlere flom (m ³ /s)
Audna ved Gaupefossen (naturlig)	344	350	120
Lokalfelt Gaupefossen - Vigeland	69	350	24
Audna ved Vigeland (naturlig)	413	350	144
Lokalfelt Vigeland – utløp Sniksfjorden	42	350	15
Audna ved utløp i Sniksfjorden (naturlig)	455	350	159
Audna ved Gaupefossen (regulert)	344	333	115
Audna ved Vigeland (regulert)	413	336	139
Audna ved utløp i Sniksfjorden (regulert)	455	337	153

4.3 5- til 500-årsflom

For bestemmelse av flommer med gjentakintervall opp til 500 år er det utført frekvensanalyser av flomdata fra både Audna og nabovassdrag. Resultatene er oppsummert i tabell 9 sammen med verdier fra regionale flomfrekvenskurver. Tallene avviker noe fra de som ble beregnet i forbindelse med flomsonekartet for Audna ved Konsmo (NVE-dokument 2-2006). Det skyldes både at en nå har noen flere år med data, og for Myglevatn at vannføringskurven ble endret i 2006 med virkning tilbake til 1951. Dette førte til en vesentlig reduksjon av flomvannføringene ved stasjonen.

For Tingvatn, som er en av de lengste seriene i området, er resultatet med tre ulike frekvensfordelingsfunksjoner vist i figur 9. GEV-fordelingen er vurdert å være best tilpasset de observerte vannføringene. Faktorene for Tingvatn stemmer godt overens med den regionale kurven K2, mens de regionale kurvene K1 og Å1 gir noe høyere verdier. Dataene fra Gaupefossen gir noe slakere kurve enn for Tingvatn. Denne serien er imidlertid relativt kort (20 år) for estimering av frekvensfaktorer.



Figur 9. Flomfrekvensanalyse for målestasjonen 24.9 Tingvatn for årene 1922-2007.

De andre observerte seriene i området gir noe lavere frekvensfaktorer enn Tingvatn, spesielt skiller Kjølamo og Myglevatn seg ut med slakere kurver. For Kjølamo skyldes dette først og fremst at nedbørfeltet er langt større enn for de øvrige feltene. I noen grad har også reguleringene i Mandalsvassdraget påvirket flomforholdene ved Kjølamo.

Selv om det er en lang dataserie for Brådlandsvatn er det valgt å ikke presentere resultater fra frekvensanalyser av denne stasjonen. Årsaken til dette er at denne serien er sterkt påvirket av reguleringer, som blant annet har medført at de ”små flommene har blitt kraftig redusert (figur 8). Resultatet er at frekvenskurven for denne stasjonen blir mye brattere enn for de øvrige stasjonene i området, og ikke vil være representativ for forholdene i hovedelven Audna.

I de videre analysene er det valgt å benytte faktorene fra den regionale kurven K2. De resulterende flomverdiene (døgnmidler) er gitt i tabell 10.

Tabell 9. Flomfrekvensfaktorer.

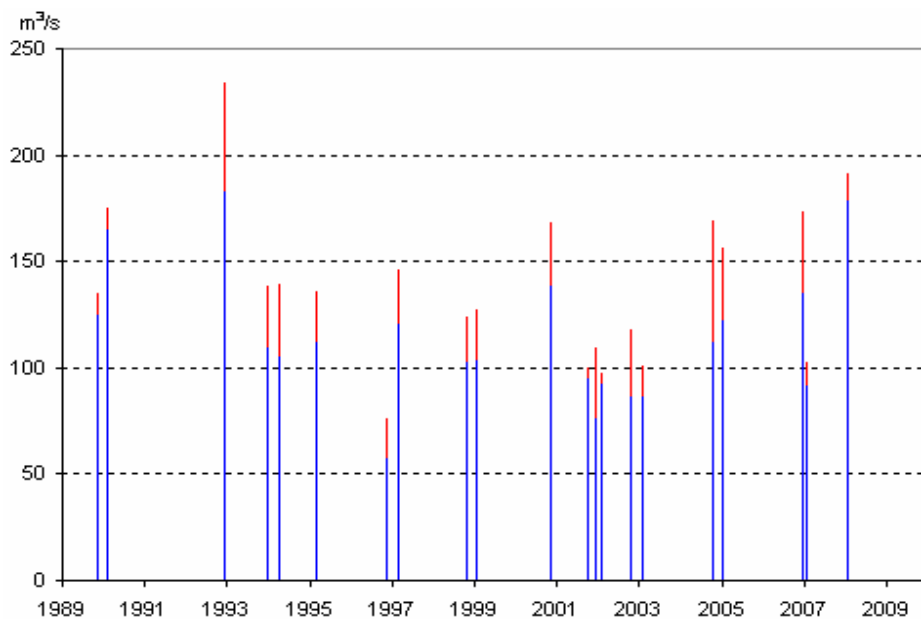
	Ant. år	Q5/QM	Q10/QM	Q20/QM	Q50/QM	Q100/QM	Q200/QM	Q500/QM	Fordelings-funksjon
22.4 Kjølamo	111	1,22	1,36	1,48	1,62	1,71	1,80	1,90	GEV
22.16 Myglevatn ndf.	56	1,15	1,27	1,38	1,53	1,64	1,75	1,89	EV1
22.22 Søgne	35	1,22	1,40	1,57	1,79	1,96	2,12	2,34	EV1
23.8 Gaupefossen	20	1,21	1,38	1,54	1,76	1,92	2,07	2,28	EV1
24.8 Møska	27	1,19	1,35	1,50	1,70	1,85	1,99	2,19	EV1
24.9 Tingvatn	85	1,21	1,40	1,58	1,82	2,01	2,20	2,46	GEV
25.7 Refsti	97	1,23	1,40	1,56	1,76	1,89	2,02	2,17	LN2
Regionale verdier:									
Å1-1978						2,15	2,45	2,82	
K1-1997		1,24	1,45	1,62	1,93	2,16	2,42	2,72	
K2-1997		1,24	1,44	1,59	1,87	2,05	2,27	2,49	

Tabell 10. Beregnede flomvannføringer for Audna (døgnmidler). Ved Gaupefossen anbefales å benytte beregnede flomstørrelser for regulert vassdrag for gjentaksintervall opp til 20 år og for naturlige forhold ved større flommer. Aktuelle verdier er gitt med fet skrift.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Audna ved Gaupefossen, reg.	344	115	142	165	182	214	235	259	286
Audna ved Gaupefossen, nat.	344	120	149	173	192	225	247	273	300
Audna ved Gaupefossen	344	115	142	165	182	225	247	273	300
Audna ved Vigeland	413	139	172	200	221	270	296	327	361
Audna ved utløp i Sniksfjorden	455	153	190	221	244	297	327	361	397

4.4 Kulminasjonsverdier

I figur 10 og tabell 11 er kulminasjons- og døgnmiddelvannføring for de største flommene ved målestasjonen 23.8 Gaupefossen fra 1989 til 2009 vist. Forholdstallet mellom disse varierer fra omkring 1,05 til 1,5. 20 år med data gir en døgnmiddelflom på 115 m³/s, mens midlere kulminasjonsverdi er 142 m³/s. Det gir et gjennomsnittlig forholdstall på 1,23.



Figur 10. Flommer i perioden 1989 til 2009 ved målestasjonen 23.8 Gaupefossen i Audna. Døgnmiddelvannføring er angitt med blå søyle og kulminasjon med rød søyle.

Slike forholdstall kan også beregnes ved hjelp av empiriske ligninger basert på feltparametere. Følgende formler er gitt (NVE 2000):

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{døgn}} = 1.72 - 0.17 \log A - 0.125 A_{\text{SE}}^{0.5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{døgn}} = 2.29 - 0.29 \log A - 0.270 A_{\text{SE}}^{0.5}$$

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

For Gaupefossen gir formlene forholdstall på 1,18 og 1,32 for vår- og høstflommer. For nedre deler av Audna gir formlene litt lavere forholdstall. Det er god overensstemmelse mellom formlene og beregningene basert på observasjoner. Som representativ for Audna ved Gaupefossen velges 1,23. I de nedre delene av Audna

benyttes 1,2. De resulterende kulminasjonsverdiene avrundet til nærmeste 10 m³/s er gitt i tabell 12.

Tabell 11. Flommer i perioden 1989 til 2008 ved målestasjonen 23.8 Gaupefossen i Audna.

Dato	Døgn	Kulm.	Forh.tall	Dato	Døgn	Kulm.	Forh.tall
	m ³ /s	m ³ /s			m ³ /s	m ³ /s	
11.11.89	125	135	1,08	09.10.01	95	100	1,05
01.02.90	165	175	1,06	02.12.01	76	109	1,43
03.12.92	183	234	1,28	02.02.02	92	97	1,05
19.12.93	109	138	1,27	25.10.02	86	118	1,37
02.04.94	105	139	1,32	21.01.03	86	101	1,17
23.02.95	112	136	1,21	04.10.04	112	169	1,51
06.11.96	57	76	1,33	08.01.05	122	156	1,28
02.03.97	120	146	1,22	11.12.06	135	173	1,28
25.10.98	102	124	1,22	14.01.07	91	102	1,12
19.01.99	103	127	1,23	16.01.08	178	191	1,07
13.11.00	138	168	1,22	20.11.09	93	99	1,06
				07.12.09	81	123	1,52

Tabell 12. Kulminasjonsvannføringer i Audna, basert på skalering av beregnede døgnmiddelflommer for Audna. Verdiene er avrundet til nærmeste 10 m³/s.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Audna ved Gaupefossen, reg.	344	140	170	200	220	260	290	320	350
Audna ved Gaupefossen, nat.	344	150	180	210	240	280	300	340	370
Audna ved Gaupefossen	344	140	170	200	220	280	300	340	370
Audna ved Vigeland	413	170	210	240	260	320	360	390	430
Audna ved utløp i Sniksfjorden	455	180	230	260	290	360	390	430	480

Ut fra disse analysene hadde de to største flommen som er observert ved Gaupefossen målestasjon gjentaksintervall på henholdsvis 5 - 10 år (januar 2008) og 20 -50 år (desember 1992).

Det er også gjennomført frekvensanalyser direkte på kulminasjonsvannføringene fra Gaupefossen. Data fra perioden 1989 – 2009 er analysert. For gjentaksintervall fra 10 år og oppover gir disse analysene noe lavere flomverdier enn beregningene over, som er basert på skalering av døgnmiddelverdier. Resultatet er gitt i tabell 13. Få år med

data gir imidlertid relativt usikre analyser, og det anbefales å benytte resultatene fra tabell 12 i de videre analysene.

Tabell 13. Kulminasjonsvannføringer i Audna ved Gaupefossen, basert på frekvensanalyse observerte kulminasjonsvannføringer fra 1989 - 2009. Resultatene er basert på Gumbel-fordelingen.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50
	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Audna ved Gaupefossen målestasjon	344	142	168	190	211	238

5. Forholdet til tidligere flomberegninger

Disse beregningene gir en 500-års flom i Audna ved Gaupefossen på 300 m³/s tilsvarende 870 l/s km² som døgnmiddel.

I 1999 ble det gjennomført flomberegninger for dammene i Trylandselva (Bommen 1999). Dammene ligger i en sidegren til Audna oppstrøms området som skal flomsonekartlegges. For disse er 1000-årsflom beregnet med utgangspunkt i ekstrem nedbør og snøsmelting. To av magasinene, Sundsvatn og Lelandsvatn, får kun tilsig fra eget lokalfelt. (figur 2). For disse to magasinene er 1000-års tilløpsflom beregnet til omkring 1800 og 1400 l/s km², mens avløpet er ca 640 og 1100 l/s km² (alle verdier er døgnmidler). For begge magasiner er det kun regnet med avløp i faste overløp (ikke bruk av luker eller lignende). Flomberegningene som nå er utført virker rimelige sett i forhold til beregningene utført for damsikkerhet. En detaljert sammenligning av de ulike beregningene er imidlertid vanskelig, da både Sundsvatn, Lelandsvatn og Øvre og Ytre Øydnavatn virker dempende på flommer, men i ulik grad avhengig av blant annet utløpsprofiler og sjøarealer.

I forbindelse med tidligere flomsonekartlegging i Audna ved Konsmo, er 500-årsflom (døgnmiddel) nedstrøms Ytre Øydnavatn (135 km²) beregnet til ca. 800 l/s km² (NVE-dokument 2-2006). Dette stemmer godt overens med disse beregningene for Audna ved Vigeland, da det blant annet må antas en større naturlig flomdempning i Øvre og Ytre Øydnavatn enn lenger ned i vassdraget.

I beregningene for Konsmo ble det videre antatt at en hadde et lokaltilsig fra feltene nedenfor Ytre Øydnavatn på 330 l/s km² ved midlere flom. Dette harmonerer også godt med disse beregningene, hvor beregnet middelflom ved Gaupefossen er henholdsvis 333 og 350 l/s km² for regulert og naturlig vassdrag.

6. Usikkerhet

Usikkerheten i de beregnede flomverdiene skyldes flere forhold. For det første er det usikkerhet knyttet til ”observert vannføring”. Vannstander observeres, deretter omregnes disse ut fra en vannføringskurve til vannføring. Vannføringskurven er basert på et antall samtidige observasjoner av vannstand og fysiske målinger av vannføring ute i elven.

De største flomvannføringene er beregnet ut fra et ekstrapolert samband mellom vannstander og vannføringer. For eksempel er største ”observerte” vannføring ved målestasjonen 23.8 Gaupefossen i Audna 234 m³/s, mens største vannføringsmåling er 90 m³/s, som tilsvarer omkring 80 prosent av midlere flom. I forhold til tidligere beregninger i Audnavassdraget er imidlertid datagrunnlaget nå vesentlig forbedret ved at 20 år med data fra målestasjonen 23.8 Gaupefossen nå er blitt tilgjengelig.

Hydrologisk avdelings database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er derfor alle flomvannføringer noe underestimert, fordi største 24-timersmiddel alltid vil være mer eller mindre større enn største kalenderdøgnmiddel.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at de eldste dataene i databasen er basert på en daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesningene betraktes å representere et døgnmiddel, men kan avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmidlet.

I tillegg er dataene med fin tidsopløsning ikke kontrollert på samme måte som døgndataene, og de er ikke komplettert i tilfelle observasjonsbrudd. Slike data egner seg derfor ikke uten videre til beregning av flomstørrelser. Ved omregning fra døgnmidler til kulminasjonsvannføringer er det derfor også usikkerhet.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn. Hvis disse flomberegningene skal klassifiseres i en skala fra 1 til 3, hvor 1 tilsvarer beste klasse, vil disse gis klasse 2.

Referanser

Bommen H. 1999: Trylandsvassdraget. Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimal flom. Grøner 1999.

Holmqvist, E. 2002: Flomberegning for Søgneelva. Flomsonekartprosjektet. Dokument 16-2002, NVE.

Holmqvist, E. 2003: Flomberegning for Mandalselva. Flomsonekartprosjektet. Dokument 19-2003.

Holmqvist E. 2006: Flomberegning for Audna ved Konsmo. Dokument 2-2006, NVE.

Holmqvist E. og Pettersson L.E.: Flommen på Sør- og Østlandet januar 2008. Dokument 4-2008.

NVE 2000: Prosjekthåndbok – flomsonekartprosjektet. 5 B: Retningslinjer for flomberegninger.

Sælthun, N.R. 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport 14-97, NVE.

Wingård B. 1978: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport 2-78, NVE

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

Utgitt i Dokumentserien i 2010

- Nr. 1 Inger Sætrang: Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnett 2010 (58 s.)
- Nr. 2 Styrende dokumenter for tilsyn og reaksjoner. Versjon 2 – mars 2009 (92 s.)
- Nr. 3 Ingjerd Haddeland: Flommen på Sør- og Vestlandet november 2009 (20 s.)
- Nr. 4 Heidi Bache Stranden : Evaluering av seNorge: data versjon 1.1. (36 s.)
- Nr. 5 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2009 (14 s.)
- Nr. 6 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Sira ved Tonstad (23 s.)
- Nr. 7 Anne Cecilie L. Bondy (red.): Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg Forslag til endringer i forskrift av 18.12.2009 nr.1665
- Nr. 8 Lars-Evan Pettersson: Flommen i Nord-Norge mai 2010
- Nr. 9 Forslag til endringer i forskrift 11. mars 1999 nr. 301, om måling, avregning mv. Høringsdokument november 2010 (34 s.)
- Nr. 10 Lars-Evan Pettersson: Flommen i Sør-Norge oktober 2010 (24 s.)
- Nr. 11 Erik Holmqvist: Flomberegning for Audna ved Vigeland, 023.Z (26 s.)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen,
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no