Flomberegning for Mandalselva.

Revisjon av rapport 19-2003.

Erik Holmqvist og Kolbjørn Engeland

15
2018

RAPPORT

Rapport nr 15-2018
Flomberegning for Mandalselva.

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Erik Holmqvist og Kolbjørn Engeland

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 10
Forsidefoto: Flomvannstander 2017 og 1892. Foto: Orvedal og Holmqvist
ISBN 978-82-410-1666-0
ISSN 1501-2832

Sammendrag: Det er utført flomberegninger for Mandalselva som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging. Beregningene er basert både på observerte vannføringsdata i Mandalselva fra 1896-2017 og informasjon om to store flommer i 1892 og 1864.

Emneord: Flomberegninger, flomvannføring, flomsonekart, historiske data.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

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

Mars 2018

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1. Beskrivelse av oppgaven **7**

2. Beskrivelse av vassdraget **7**

3. Hydrometriske stasjoner **12**

4. Flomanalyser **15**

4.1 Observerte flommer 15

4.2 Midlere flom 16

4.3 5- – 1000-årsflom 19

4.4 Kulminasjonsverdier 23

4.5 Klimaendringer 26

4.6 Flommen i Mandalselva oktober 2017 27

6. Usikkerhet **30**

Referanser **32**

Forord

Det ble i 2003 utarbeidet flomberegninger for Mandalsvassdraget i forbindelse med flomsonekartlegging. Flomsonekart er et viktig hjelpemiddel i forbindelse med arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. I oktober 2017 rammet en stor flom flere vassdrag på Sørlandet, blant annet Mandalselva. Dette var den største flommen i Mandalelva siden 1800-tallet. Slike store flommer medfører at datagrunnlaget for flomberegninger endres vesentlig. I Mandalselva ble det også gjort målinger i felt under flommen som viste at det rant langt mer vann i elva under flom enn det man tidligere hadde lagt til grunn. Det har derfor vært behov for å oppdatere flomberegningene for Mandalsvassdraget.

Rapporten er utarbeidet av Erik Holmqvist i samarbeid med Kolbjørn Engeland. Rapporten er kvalitetskontrollert av Thomas Væringstad.

Oslo, mars 2018

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningene er utført som en del av NVEs flomsonekartprosjekt fs 022_1 Mandal og 022_2 Øyslebø. Det er høstflommer som dominerer i vassdraget, men flommer kan forekomme til alle årstider. Resultatene av analysene er sammenfattet i tabell 1.

Vassdraget har vært regulert siden 1930-tallet og reguleringsgraden er ca. 15 %. Ved stasjonen 22.4 Kjølemo, som ligger i Mandalselva rett sør for Øyslebø, er vannstand/ vannføring registrert siden 1896.

Den største flommen siden målestart var i oktober 2017. Under denne flommen ble det gjort vannføringsmålinger i felt for vannføringer større enn 1000 m^3/s. Målingene, som ble utført av Hydra Team, viste at det rant vesentlig mer vann i elva under flom enn det man tidligere hadde lagt til grunn. Vannføringskurven for målestasjonen er derfor revidert av Hydrometri-seksjonen i NVE. De observerte flomvannføringene ved Kjølemo antas nå å være svært gode.

Vi har også opplysninger om to store flommer på 1800-tallet, som var større enn flommen i 2017. Vannføringen ved disse to flommene er beregnet ved bruk av en hydraulisk modell. Dette arbeidet er utført av Kjartan Orvedal ved NVE Region Midt.

I denne flomberegningen er også de historiske flommene på 1800-tallet inkludert i flomfrekvensanalysene. Disse analysene er gjort i samarbeid med Kolbjørn Engeland i seksjon for Hydrologisk Modellering i NVE.

For Mandalselva er det antatt et forholdstall på 1,15 mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring.

Mandalselva ligger i et område av Norge hvor klimaframskrivningene gir en økning på 20 prosent i flomstørrelser frem mot år 2100. Dette gir en ytterligere økning i de beregnede flomstørrelsene.

Ut fra foreliggende beregninger kan 2017-flommen karakteriseres som en 50- 100-årsflom, mens flommene på 1800-tallet hadde gjentaksintervall på omkring 200 og 500 år. Disse flommene vil imidlertid bli karakterisert som omkring en 20-årsflom (2017), en 50-årsflom (1864) og en 100-årsflom (1892) når en inkluderer klimapåslaget i de beregnede flomverdiene.

Resulterende flomvannføringer er gitt i tabell 1a og 1b neste side. I forhold til beregningene i 2003 har flomvannføringene økt med i størrelsesorden 20 - 45 prosent før klimapåslag, og 45 - 75 prosent inklusive klimapåslag.

Tabell 1a
Flomvannføringer i Mandalselva (kulminasjonsverdier).
For Høyeåna er det vannføring ved kulminasjon i hovedvassdraget som er gitt.
Maksimal flomvannføring i Høyeåna vil kunne være større.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Mandalselva ved Øyslebø	1635	475	590	680	770	890	980	1070	1200	1290
Høyeåna	101	48	60	70	80	90	100	110	120	130
Mandalselva nedstrøms innsnevring	1746	524	650	750	850	980	1080	1180	1320	1420
Kjølemo	1757	527	660	760	860	990	1090	1190	1330	1430
Mandalselva ved utløp	1817	555	690	800	900	1040	1150	1260	1400	1510

Tabell 1b
Flomvannføringer i Mandalselva med 20 % klimapåslag.
For Høyeåna er det vannføring ved kulminasjon i hovedvassdraget som er gitt.
Maksimal vannføring i Høyeåna vil være større.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Mandalselva ved Øyslebø	1635	570	710	820	920	1070	1180	1280	1440	1550
Høyeåna	101	60	70	80	100	110	120	130	140	160
Mandalselva nedstrøms innsnevring	1746	630	780	900	1020	1180	1300	1420	1580	1700
Kjølemo	1757	630	790	910	1030	1190	1310	1430	1600	1720
Mandalselva ved utløp	1817	670	830	960	1080	1250	1380	1510	1680	1810

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

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for nedre del av Mandalselva gjennom Mandal og for Mandalselva ved Øyslebø. Delprosjektenes nummer og navn i NVEs flomsonekart-prosjekt er fs 022_1 Mandal og fs 022_2 Øyslebø. Som grunnlag for denne konstruksjonen skal midlere flom og flommer med gjentaksintervall opptil 1000 år beregnes.

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

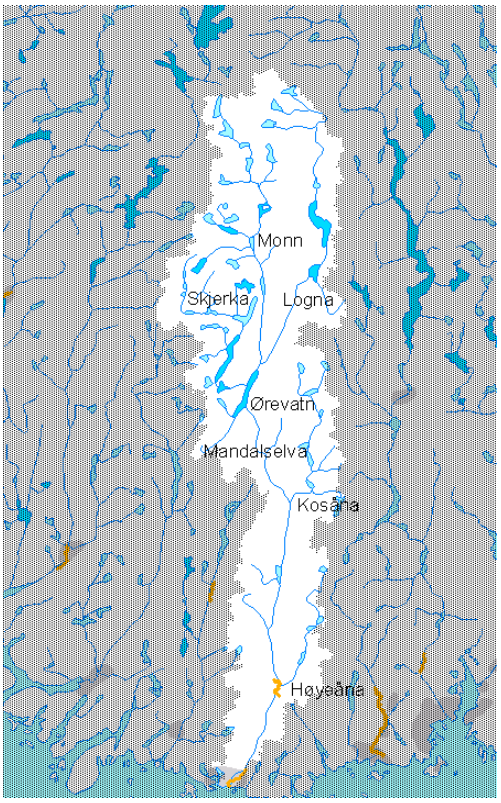
Tabell 2
Nedbørfelt.

	Areal (km²)
Mandalselva ved Øyslebø, oppstrøms Høyeåna	1635
Høyeåna	101
Mandalselva nedstrøms Nomevatn	1746
Kjølemo	1757
Mandalselva ved utløp	1817

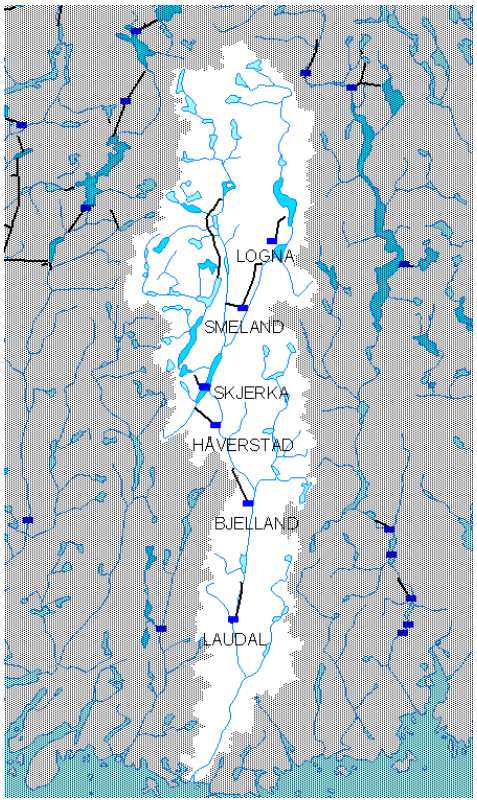
2. Beskrivelse av vassdraget

Mandalselva har en utstrekning nord-sør på 115 km og øst-vest på omkring 20 km (figur 1). Nedbørfeltet er drøyt 1800 km². Øvre del av feltet ligger sør i Setesdals-heiene og er dominert av skogsterreng i høydenivået 300 – 900 moh (figur 2 og 3).

Det er ingen store innsjøer i vassdraget, men den nordlige delen er preget av flere mindre vann. Den øvre del av vassdraget består av tre hovedgrener, Skjerka, Monn og Logna (figur 1 a). Disse samles i Ørevatn, herifra heter vassdraget Mandalselva. Nedstrøms Ørevatn kommer det tilløp fra to store sidefelt. Kosåna (220 km²) renner inn fra øst mellom Ørevatn og Øyslebø, mens Høyeåna (101 km²) renner inn fra øst ved Øyslebø.

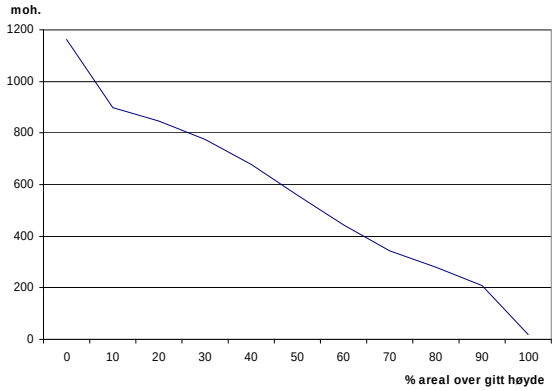


Figur 1a
Oversiktskart over Mandalsvassdraget. Strekningene som skal flomsone-kartlegges er markert med oransje.

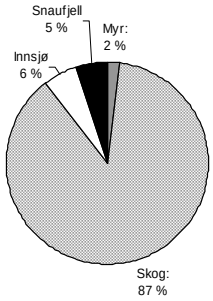


Figur 1b
Reguleringene i Mandalsvassdraget. Kraftverk er markert med blå firkanter og tunneler/ overføringer som svarte linjer.

Figur1 c
Nedre del av Mandal-svassdraget. Punktene i Mandalselva hvor det er beregnet flomvannføring er angitt med rødt.



Figur 2
Hypsografisk kurve, Mandalselva ved Kjølemo.



Figur 3
Arealfordeling, Mandalselva ved Kjølemo.

Ca. 1 km sør for Øyslebø kommer vann fra Nomevatn ut i Mandalselva (figur 1c). Her er det et trangt gjel som stuer opp Mandalselva, under flom kan vannstanden stige flere meter, slik at vann renner fra Mandalselva og inn i Nomevatn.

Årsmiddelavrenningen øker fra ca. 25 l/s km² nær kysten til 70–75 l/s km² i de nordvestlige delene av feltet. Midlere spesifikt årsavløp for Mandalselva er 47 l/s km² eller omkring 84 m³/s.

Med unntak av noen mindre gårds- og bygdeverk for produksjon av elektrisitet og Tungefoss kraftstasjon, som ble bygd i 1918 i forbindelse med Undals Molybdæn-gruber, var vassdraget uregulert frem til 1930-tallet. Tungefoss var et elvekraftverk, og det utnyttet et mindre fall i Mandalselva der Bjelland kraftverk ligger i dag. Første større kraftverk i vassdraget var Skjerka, hvor første aggregat ble satt i drift i 1932. Senere har flere kraftverk kommet til (tabell 3), med bygging av et nytt Skjerka kraftverk i 1997 som det hittil siste. Skjerka kraftverk utnytter et fall på 346 m mellom Skjerkavatn og Ørevatn. Rett oppstrøms Skjerkavatn ligger Nåvatn, som har en reguleringshøyde på 36,5 m og et magasinvolum på 124 mill m³ (tabell 4). Nåvatn er det nest største magasinet i Mandalsvassdraget.

Det største magasinet er Juvatn nordøst i vassdraget. Det er inntaksmagasin for Logna kraftverk. Reguleringshøyden i Juvatn er 24 m, og magasinvolumet er 143 mill m³. Total magasinkapasitet i vassdraget er 384 mill m³, som tilsvarer en reguleringsgrad på 15 %.

Tabell 3
Kraftverk i Mandalsvassdraget, Agder Energis nettsider (www.ae.no).

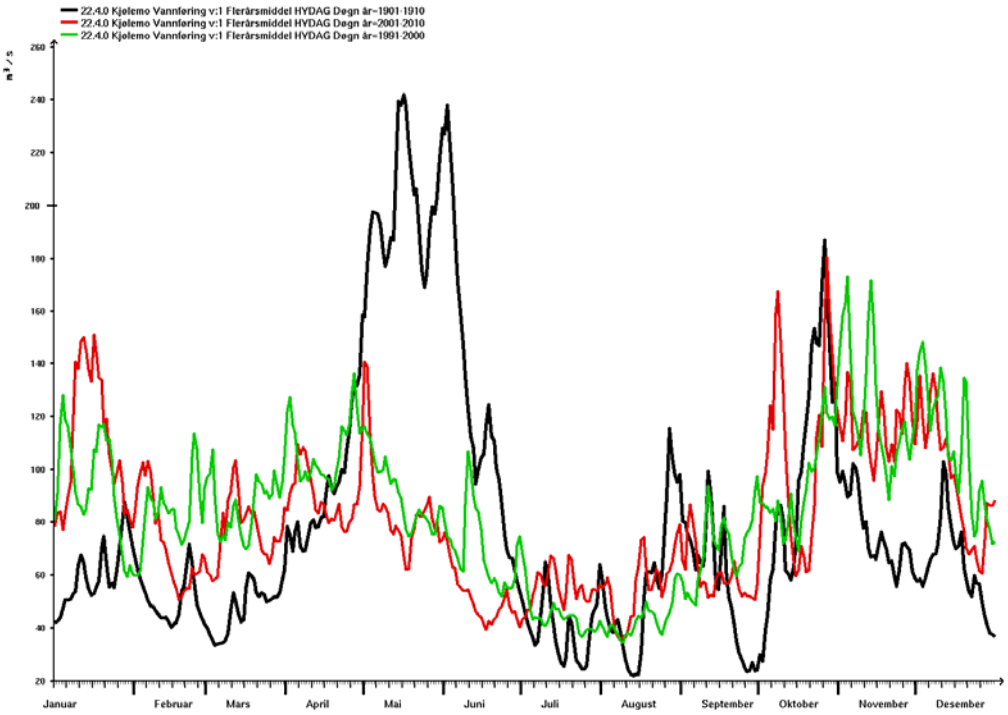
Kraftverk	Fallhøyde	Midlere årsproduksjon	Byggeår
	m	GWh	
Skjerka	346	612	(1930) 1997
Håverstad	82,5	282	1952-55
Logna	154	105	1958-61
Bjelland	87,5	312	1972-75
Laudal	36	146	1977-81
Smeland	95	119	1982-85
Sum		1576	

Tabell 4
Magasiner i Mandalsvassdraget (NVE Atlas)

Magasin	HRV (moh)	LRV (moh)	Volum (mill m³)
Langevatn	683,6	667,6	22
Kværnevatn	771,0	745,2	38
Storevatn	860	854	11
Stegilvatn	762	754	11
Nåvatn	628	591,5	124
Skjerkavatn	605	591	20
Juvatn	513	489	143
Lognavatn	357,7	357,0	1,4
Ørevatn	259,62	256,5	11
Tungesjø	166	155	2,2
Mannflåvatn (sommer/ vinter)	68,8	67,8	2,3
Sum			384

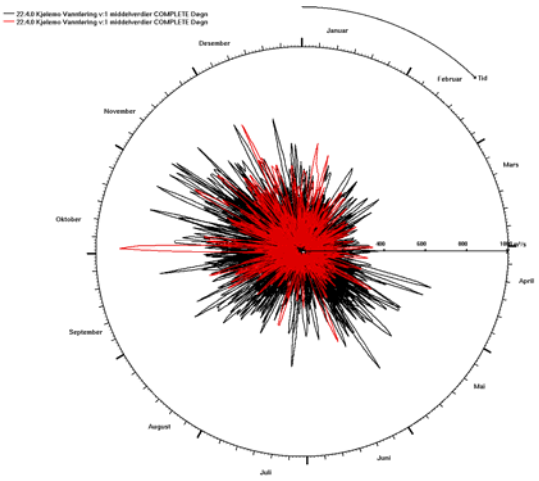
Figur 4 viser at reguleringene i vassdraget har endret vannføringen i Mandalselva gjennom året. De største endringene er på våren og forsommeren, som følge av magasinering av smeltevann. Videre er både vintervannføringen og lavvannføringen om sommeren økt i forhold til tidligere.

Etter kraftutbyggingene på 1950- og 60-tallet, er det høstflommer som har gitt de største vannføringene i vassdraget. Men fortsatt kan flomvannføringer forekomme til alle årstider (figur 5). Største høstflom etter regulering var i 2017 med 936 m³/s (døgnmiddel). Dette er også den desidert største flommen i hele tidsserien.



Figur 4

Vannføring i Mandalselva ved Kjølemo midlet over tre 10 års-perioder. Svart kurve viser data fra før regulering av vassdraget (1901-1910), den grønne og rød kurven data fra etter regulering (1991-2000 og 2001-2010).

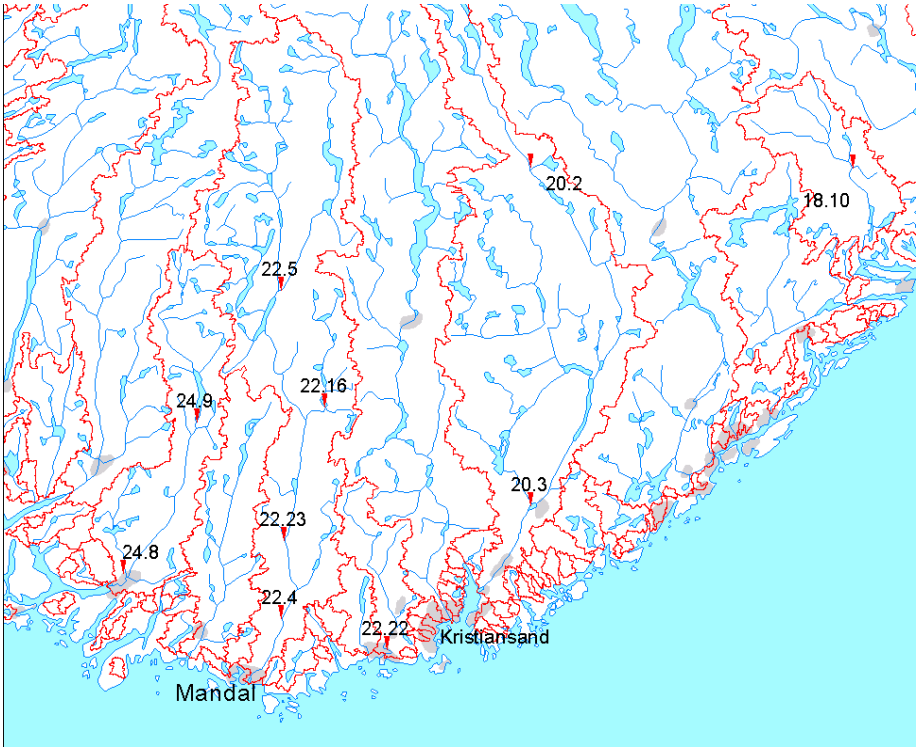


Figur 5

Flommer i Mandalselva ved Kjølemo fra 1896 til 2017. Sirkelen representerer året med januar øverst, og mars/ april til høyre. Flommer i perioden 1998-2017 er markert med rødt.

3. Hydrometriske stasjoner

I figur 6 er det gitt en oversikt over avløpsstasjoner i og i nærheten av Mandalselva. Noen sentrale feltparametere for stasjonene er gitt i tabell 5. En kort kommentar til de enkelte stasjonene er gitt nedenfor.



Figur 6
Målestasjoner i nærheten av Mandalselva.

Tabell 5
Feltparametere for undersøkte stasjoner.

Stasjon	Periode	Areal (km^2)	Normalavløp (l/s km^2)	Sjøprosent (%)	Effektiv sjøprosent (%)
18.10 Gjerstad	1980-dd	237	25	2,6	1,64
20.2 Austenå	1924-dd	286	37	8,4	2,0
20.3 Flaksvatn	1899-dd	1771	34	5,1	0,54
22.4 Kjølemo	1896-dd	1757	47	5,5	0,57
22.5 Austerhus	1922-85	410	44	4,9	1,8
22.16 Myglevatn ndf.	1951-01	182	45	3,4	1,9
22.22 Søgne	1974-dd	206	30	4,7	0,07
22.23 Laudal	1982-93	1565			
24.8 Møska	1978-dd	121	50	7,8	1,43
24.9 Tingvatn	1922-dd	272	61	6,8	3,3

18.10 Gjerstad ligger i Gjerstadelv som drenerer grenseområdene mellom Aust Agder og Telemark. Det er ingen reguleringer i feltet som er drøyt 200 km². Det er utført vannføringsmålinger for vannføringer opp til 194 m³/s, mens midlere flom er 91 m³/s. Flomverdiene antas å være gode.

20.2 Austenå ligger ca. 70 km inn i landet i øvre del av Tovdalselv i Aust Agder. Stasjonen har vært i drift siden 1924. Nedbørfeltet er 286 km². Det er flere innsjøer i nedbørfeltet som har en flomdempende virkning. Nedbørfeltet består av 55% snaufjell og midlere høyde er ca. 770 moh. Det er utført vannføringsmålinger for vannføringer opp til 124 m³/s, mens midlere flom er 76 m³/s. Flomverdiene antas å være relativt gode.

20.3 Flaksvatn ligger i nedre del av Tovdalsvassdraget. Nedbørfeltet er på 1777 km². Observasjonene startet i 1899, fra 1960-tallet har vassdraget vært noe regulert, men reguleringene har hatt relativt liten betydning for flomforholdene i vassdraget. Det ble under flommen i oktober 2017 utført vannføringsmålinger for vannføringer i overkant av 1000 m³/s. Midlere flom er 406 m³/s. Vannføringskurven, som ble revidert etter målingene under flommen i 2017, antas å være god.

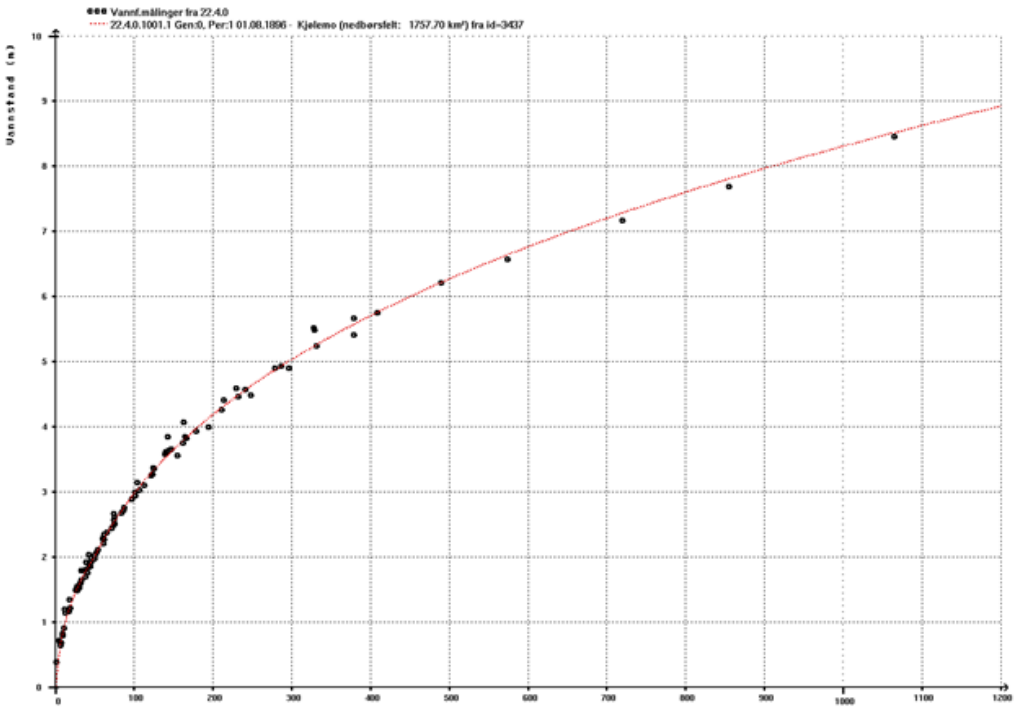
Tovdalsvassdraget er noe mindre eksponert for lavtrykk fra vest enn Mandals-vassdraget. Midlere spesifikt årsavløp er derfor noe lavere her enn i Mandalsvassdraget.

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 % av Mandalsvassdraget.

Ved målestasjonen Kjølemo ble det under flommen i 2017 utført fire vannførings-målinger fra omkring 570 til nesten 1070 m³/s (figur 7). Maksimalverdien ble målt nær tidspunktet flommen kulminerte. Tidligere var høyeste måling 490 m³/s. Målingene medførte at vannføringskurven ble revidert med virkning tilbake til 1896. Endringen har medført at flomvannføringene tilbake i tid har økt. Flomvannføringene ved denne stasjonen er svært godt bestemt.

22.5 Austerhus lå i Logna i Mandalsvassdraget. Stasjonen var i drift fra 1922, og ble påvirket av regulering fra 1958. Nedbørfeltet er 410 km². Før regulering er det registrert flere flomvannføringer på 150 - 240 m³/s, men det er ingen vannførings-målinger for vannføringer større enn ca. 100 m³/s. Data fra denne stasjonen er derfor ikke tatt med i de videre analysene.

22.16 Myglevatn ndf ligger i Kosåna, en sidegren til Mandalselva omkring 45 km inn i landet. Stasjonen har vært i drift siden 1951, og er ikke påvirket av reguleringene i Mandalsvassdraget. Det er utført vannføringsmålinger for vannføringer opp mot 63 m³/s, midlere flom er 55 m³/s. Flomverdiene ved stasjonen er antas å være relativt usikre.



Figur 7
Vannføringskurve for 22.4 Kjølemo. Vannføringsmålinger er markert med svarte punkter. De fire øverste punktene ble målt under flommen i oktober 2017.

22.23 Laudal ligger i Mandalselva noen kilometer oppstrøms for Øyslebø. Stasjonen ble opprettet for å kontrollere pålagt minstevannføring nedstrøms Laudal kraftverk. Under flommen i oktober 2017, ble det også her gjort vannføringsmålinger på over 700 m³/s. Til sammenligning er midlere flom 249 m³/s. Flomverdiene antas å være gode.

22.22 Søgne ligger i Søgneelva et par kilometer før utløpet i fjorden. Stasjonen ble opprettet i 1973 i forbindelse med vannkvalitetsundersøkelser. Også ved denne stasjonen ble det utført vannføringsmålinger i oktober 2017 ved vesentlig større vannføring (194 m³/s) enn tidligere. Vannføringskurven er revidert etter dette, og flomverdiene antas å være relativt gode. Midlere flom er 86 m³/s.

24.8 Møska ligger i Møska som løper sammen med Lygna rett før denne renner ut i Lyngdalsfjorden. Stasjonen ble opprettet i 1978. Midlere spesifikt årsavløp er omtrent som for Mandalselva.

Vannføringsmålinger er gjennomført for vannføringer opp mot 100 m³/s, mens midlere flom er 60 m³/s. Flomverdiene ved stasjonen antas å være gode.

24.9 Tingvatn ligger i Lygna omkring 45 km inn i landet. Stasjonen har data fra 1922. Største vannføringsmåling er ved ca. 128 m³/s, mens midlere flom er beregnet til 103 m³/s. Flomverdiene ved stasjonen antas å være relativt gode.

4. Flomanalyser

4.1 Observerte flommer

De senere årene har alle flommer i Mandalselva over 500 m³/s vært i månedene september til desember. Før vassdraget ble regulert, forekom slike vannføringer også om våren (april – mai). I tabell 6 er de største observerte flommene i vassdraget gitt, alle er høstflommer. Flommene fra 1896 -2017 er basert på observasjoner ved målestasjonen 22.4 Kjølemo. I denne perioden er flommen 2. oktober 2017 den desidert største, med et døgnmiddel 936 m³/s, og en kulminasjonsvannføring på ca. 1050 m³/s.

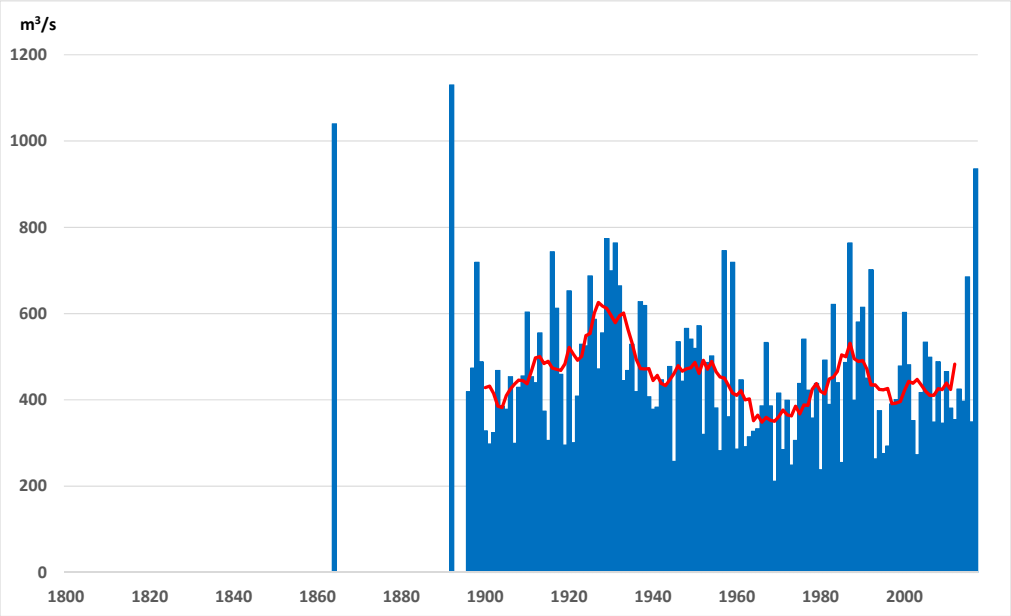
Det var imidlertid enda større flommer i Mandalselva 3. oktober 1892 og 17. – 18. september 1864. Maksimal vannstand under disse flommene er markert flere steder i områdene omkring Øyslebø. Flommene er beskrevet i en artikkel av Erik Skjævesland fra «Agder Tidend» i januar 1938, artikkelen ble gjengitt i «Marnar-minner» i 1996. Her er også den største flommen på 1700-tallet omtalt, den var i 1760, men den skal ha vært mindre enn de på 1800-tallet.

Kjartan Orvedal (NVE, RM) har etablert en hydraulisk modell for Mandalselva nær målestasjonen Kjølemo. Denne er kalibrert mot observerte vannstander og vannføringer fra flommen i 2017. Deretter er observerte vannstander fra 1864 og 1892 lagt inn i modellen som har medført at maksimal vannføring under disse flommene er beregnet til 1200 og 1300 m³/s (Orvedal, 2018). I kapittel 4.4 er det beregnet et forholdstall på 1,15 mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring for Mandalselva. Dette antas også å være representativt for de historiske flomhendelsene, det gir døgnmidler på henholdsvis 1130 m³/s (1892) og 1040 m³/s (1864).

Tabell 6
De største flommene i Mandalselva. Flomvannføringene i 1892 og 1864 er beregnet ved bruk av en hydraulisk modell, de øvrige er basert på observasjoner ved målestasjonen 22.4 Kjølemo. Det er døgnmidler som er gitt.

Dato	Døgnmiddel m³/s	Dato	Døgnmiddel m³/s
3. okt. 1892	1130	6 nov. 1957	746
18. sep. 1864	1040	1 nov. 1916	744
2. okt. 2017	936	3 nov. 1898	719
26 okt. 1929	774	16 nov. 1959	719
17 okt. 1987	764	3 des. 1992	702
5 nov. 1931	764	22 sep. 1930	700

Figur 8 viser største flom hvert år og en kurve for 10-års glidende middelflom. De første vannkraftmagasinene ble etablert på 1930-tallet. Store flommer har forekommet både før og etter at vassdraget ble regulert.



Figur 8
Flommer i Mandalselva ved Kjølemo fra 1896 – 2017 (døgnmidler) og beregnet vannføring for de to store flommene på 1800-tallet. Den rød kurven viser glidende 10-års middelflom.

4.2 Midlere flom

Selv om vannføringen om våren er betydelig redusert som følge av reguleringene i vassdraget (figur 4), er ikke midlere flom vesentlig endret (tabell 7). Det skyldes at det ofte er flom på høsten når magasinene har høy fylling.

Midlere flom i Mandalselva har variert fra omkring 390 til 450 m³/s (tabell 7), mens 10-års glidende middel varierer fra ca. 350 til 620 m³/s (figur 8). Det har vært perioder, uavhengige av reguleringene i vassdraget, med både store og små flommer. For eksempel var det både på 1960-tallet og omkring forrige århundreskifte mange år med små flommer, mens det i perioden 1983-1992 var flere store flommer. Den største flommen de de siste 120 årene var i 2017, og også i 2015 var det en relativt stor flom her. For Mandalselva ved Kjølemo er det derfor valgt å benytte hele observasjonsperioden (1896-2017) for beregning av midlere flom. Det gir 458 m³/s eller en spesifikk vannføring på 261 l/s km².

Tabell 7
Midlere flom i Mandalselva ved Kjølemo i ulike perioder.

Periode	Midlere flom (m^3/s)	Midlere flom (l/s km^2)	Kommentar
1896-1930	485	276	Naturlig, før regulering
1931-60	486	277	Under utbygging (Skjerka, Håverstad og Logna kraftverk)
1961-2017	427	243	Etter Logna-utbyggingen
1986-2017	463	264	Etter Smeland-utbyggingen
1896-2017	458	261	Hele perioden

Tabell 8
Midlere årsflom for målestasjoner i og nær Mandalsvassdraget.

Stasjon	Periode	Antall år	Areal (km^2)	Midlere flom (m^3/s)	Midlere flom (l/s·km^2)
18.10 Gjerstad	1981-17	37	237	91	385
20.2 Austenå	1924-17	94	286	76	266
20.3 Flaksvatn	1900-17	118	1777	406	228
22.4 Kjølemo	1896-17	122	1757	458	261
22.16 Myglevatn nf	1952-17	66	182	55	304
22.22 Søgne	1974-17	44	206	86	415
22.23 Laudal	1982-17	34	1565	390	249
24.8 Møska	1978-17	38	121	60	498
24.9 Tingvatn	1922-17	95	272	103	379

I tabell 8 er midlere flom for flere målestasjoner i nærheten listet opp. I Mandalsvassdraget er det en variasjon fra ca. 250 – 300 l/s km^2. For de øvrige stasjonene varierer midlere flom fra ca. 230 – 500 l/s km^2.

For Laudal, som ligger i Mandalselva oppstrøms innsnevringen ved Nomevatn, er midlere flom i perioden 1982-2017 249 l/s km^2. I samme periode er midlere flom ved Kjølemo 261 l/s km^2, eller 5 % større.

Sideelven Høyeåna, som har et nedbørfelt på 101 km^2 renner inn i Mandalselva på strekningen mellom Laudal og Kjølemo. For Høyeåna antas målestasjonen 22.22 Søgne å gi representative flomverdier. Det gir en midlere flom på 415 l/s km^2. Erfaringene fra blant annet 2017 viser at det kan være flom til samme tid i både Mandalselva og Søgneelva. Det medfører at i Mandalselva ved Øyslebø, rett oppstrøms samløpet med Høyeåna blir midlere spesifikk flom 253 l/s km^2. Dette harmonerer godt med verdien for Laudal, som ligger litt lenger opp i Mandalselva.

Det er en innsnevringen av elveløpet rett nedstrøms Øyslebø, rett ovenfor innsnevringen kommer det til en sideelv fra Nomevatn. Under flom oppstuving av

vann her. I flomberegningen fra 2003 (NVE-rapport 19-2003) ble flomdempningen i Nomevatn beregnet til ca. 20 m^3/s ved 500-årsflom. I forhold til usikkerheten knyttet til beregning av flomvannføringer med sjeldne gjentaksintervall, er dette marginalt. Det er derfor valgt å se bort fra oppstuvingen i Nomevatn disse beregningene.

Fra Kjølemo til utløp i havet øker nedbørfeltet til Mandalselva med 57,7 km^2. Målestasjonen 22.22 Søgne antas å være representativ også for denne delen av Mandalsvassdaget. Ved midlere flom gir det et bidrag til Mandalselva på ca. 25 m^3/s fra områdene nedstrøms Kjølemo. Resulterende døgnmiddelflommer i Mandalselva er gitt i tabell 9.

Tabell 9
Midlere flom i Mandalsvassdraget.

	Areal (km^2)	Midlere flom ($l/s\ km^2$)	Midlere flom (m^3/s)
Mandalselva ved Øyslebø, oppstrøms Høyeåna	1635	253	413
Høyeåna	101	415	42
Mandalselva opp-/nedstrøms innsnevring	1746	261	455
Kjølemo	1758	261	458
Mandalselva ved utløp	1815	266	483

4.3 5- – 1000-årsflom

For bestemmelse av flommer med gjentaksintervall opptil 1000 år er det utført frekvensanalyser av flomdata fra både Mandalsvassdraget og nabovassdrag. Resultatene er også vurdert mot regionale flomfrekvenskurver.

Frekvensanalysen for Mandalselva ved Kjølemo er vist i figur 9. Serien består av 122 år med data. Denne tidsserien er en av de lengst tilgjengelige vannføringsseriene i Norge.

Det er og utført en alternativ analyse hvor det er tatt hensyn til to store flommer i 1864 og 1892. Disse er de største tilbake til 1760, da det skal ha vært annen stor flom i Mandalselva, men som sannsynligvis var noe mindre enn flommen i 1864. Opplysningene om flommen i 1760 er mer usikker enn opplysningene om flommene på 1800-tallet. Det er derfor valgt å utvide analyseperioden med 136 år (1761–1896). Total analyseperiode blir da 258 år (1761 – 2017). For de første 136 årene er det samtidig lagt inn en «terskel» som tilsier at det ikke har vært andre større flommer i perioden enn de to nevnt over, og at alle flommer under denne terskelen er av ukjent størrelse.

Disse analysene er utført av Kolbjørn Engeland (NVE, HM) i forbindelse med et FoU-prosjektene «Flomkart for Norge» og «FlomQ». Målet med disse prosjektene er blant annet å utvikle mer robuste og pålitelige verktøy for flomberegninger. En av veiene dit er å inkludere informasjon om historiske flommer i frekvensanalysene. Resultatet av denne analysen er vist i figur 10, sammen med resultatet av den tradisjonelle analysen ovenfor. I begge analysene er General Extreme Value-fordelingen benyttet.

Ved å inkludere de historiske flommene i datamaterialet, øker flomestimatene noe, samtidig som usikkerheten i beregningene blir noe mindre. På tross av et svært godt datagrunnlag, er det som en ser av figur 10 fortsatt en betydelig statistisk usikkerhet knyttet til bestemmelse av sjeldne flomvannføringer.

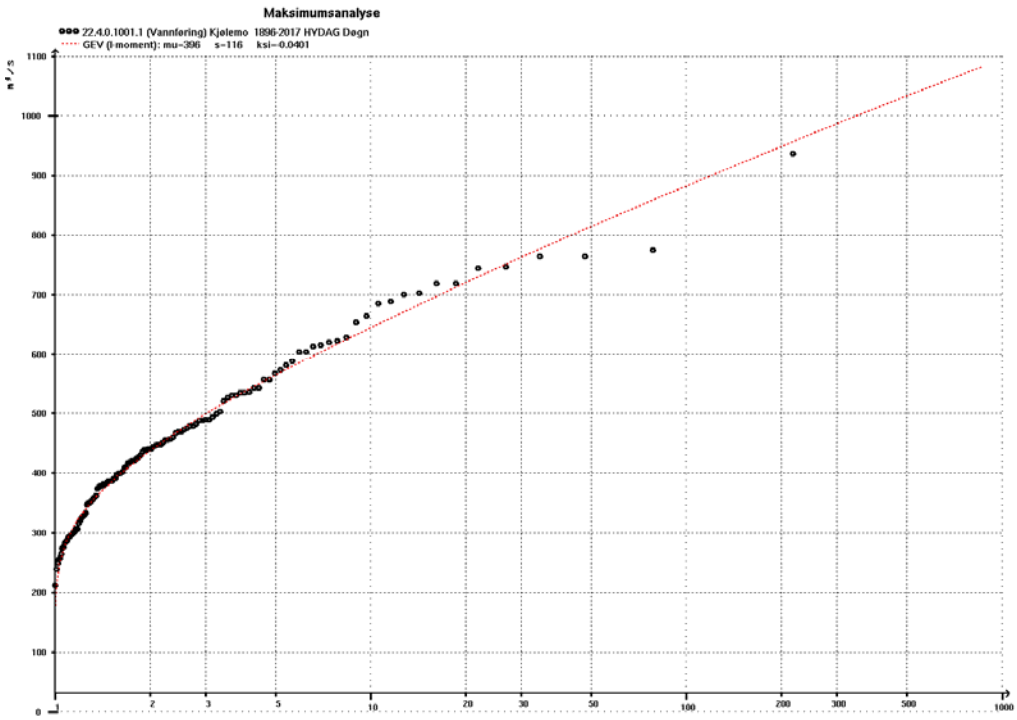
Det er og en viss usikkerhet knyttet til reguleringenes virkning på flomforholdene i Mandalsvassdraget. Mange vårflommer er redusert som følge av reguleringene, mens de store høstflommene i mindre grad er redusert. Den absolutt største målte flommen i vassdraget var i oktober 2017, da gikk de fleste magasinene i overløp og reguleringene hadde sannsynligvis marginal flomdempende effekt. Ved også å inkludere de historiske hendelsene fra 1800-tallet i flomanalysene, antas at uregulerte flomforhold/ og forholdene ved tilnærmet fulle reguleringsmagasiner er godt ivaretatt.

I tabell 10 er frekvensfaktorene for Kjølemo sammen med analyseresultatene fra de øvrige stasjonene i området oppgitt. Verdiene for Kjølemo, hvor det er tatt hensyn til historisk informasjon, ligger svært nær faktorene for den regionale kurven K2, og de harmonerer også godt med analysene for de lange tidsseriene til Austenå og Tingvatn. Flaksvatn har imidlertid større faktorer og Myglevatn mindre faktorer enn Kjølemo.

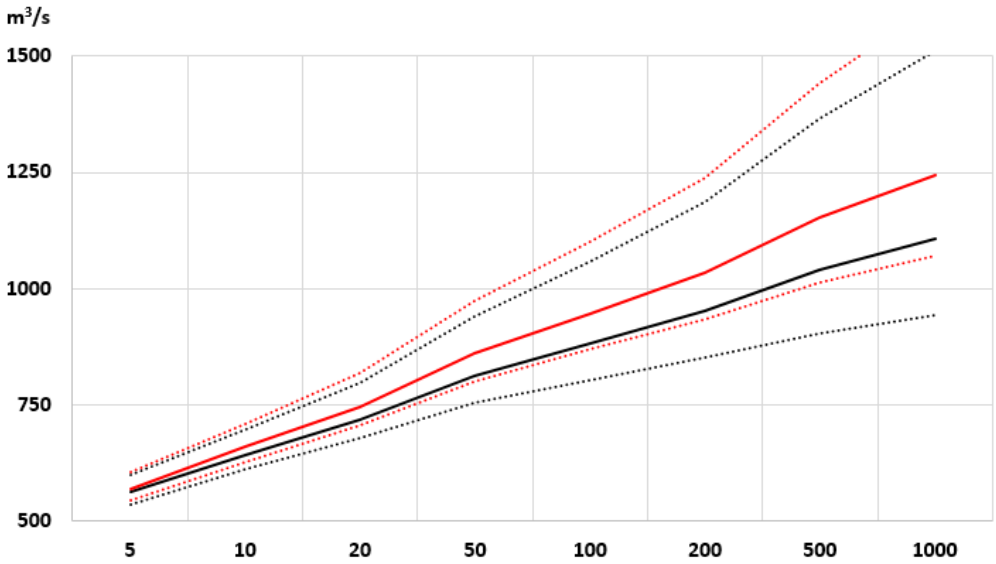
For stasjonene med færre enn 50 år med observasjoner, er det kun oppgitt frekvens-faktorer for gjentaksintervall opp til 100 år.

Det er også gjennomført en følsomhetsanalyse for den frekvensfordelingen (General Extreme Value) som synes best tilpasset de observerte flommer ved Kjølemo. Med et konfidensintervall på 90 % er for eksempel forholdet mellom 200-års- og middelflom beregnet til å ligge mellom ca. 2,0 og 2,7 mens det valgte forholdstallet er 2,26 (tabell 10). For de øvrige stasjonene i området med lange tidsserier, varierer dette forholds-tallet fra ca. 1,8 – 2,8. Dette viser at selv med flere lange dataserier, og bruk av historisk informasjon, er det betydelig usikkerhet i de beregnede faktorene og de resulterende flomvannføringene.

Resultatene fra analyse av observasjonene ved Kjølemo virker rimelige sammenlignet med analysene av flomdata fra nabostasjonene. Analysene for Kjølemo, hvor de to store flommene på 1800-tallet er inkludert, er derfor benyttet videre for bestemmelse av flomvannføringer i Mandalselva (tabell 11).



Figur 9
Flomfrekvensanalyse (GEV) for 22.4 Kjølemo, 1896-2017. Observerte flommer er vist med svarte sirkler.



Figur 10
Flomfrekvensanalyse (GEV) for 22.4 Kjølemo 1896-2017 er vist med svart strek. Tilsvarende analyse, men tillagt historisk informasjon om flommene i 1864 og 1892, er vist med rød strek. De stiplede strekene angir konfidensintervallet (5 % og 95 %) for disse kurvene.

Tabell 10
Flomfrekvensfaktorer for vannføringsstasjoner i/ nær Mandalsvassdraget. For Kjølemo er det utført analyser for både den 122 år lange observerte tidsserien, men også en serie som er utvidet med to store flommer på 1800-tallet. For denne analysen er også største og minste beregnede faktorer fra en følsomhetsanalyse oppgitt. Valgte faktorer er i fet skrift.

	Ant. år	Ford.f.	Q5/ QM	Q10/ QM	Q20/ QM	Q50/ QM	Q100/ QM	Q200/ QM	Q500/ QM	Q1000/ QM
18.10 Gjerstad	37	GEV	1,19	1,39	1,59	1,89	2,14			
20.2 Austenå	94	Gen Log	1,22	1,38	1,54	1,77	1,94	2,13	2,41	2,63
20.3 Flaksvatn	118	GEV	1,27	1,53	1,8	2,18	2,49	2,82	3,29	3,68
22.4 Kjølemo	122	GEV	1,23	1,41	1,57	1,78	1,93	2,07	2,26	2,39
22.4 Kjølemo	**122 + hist.**	**GEV**	**1,24** 1,2-1,3	**1,44** 1,4-1,5	**1,63** 1,5-1,8	**1,88** 1,7-2,1	**2,07** 1,9-2,4	**2,26** 2,0-2,7	**2,52** 2,2-3,1	**2,71** 2,3-3,5
22.23 Laudal	36	GEV	1,21	1,45	1,71	2,11	2,46			
22.16 Myglevatn	66	Gen Log	1,15	1,27	1,38	1,54	1,66	1,80	1,99	2,15
22.22 Søgne	44	GEV	1,22	1,41	1,59	1,82	2,00			
24.8 Møska	38	GEV	1,19	1,41	1,65	2,01	2,31			
24.9 Tingvatn	95	Gen Log	1,16	1,32	1,48	1,72	1,93	2,17	2,55	2,88
Regionale verdier:										
K1-1997			1,24	1,45	1,62	1,93	2,16	2,42	2,72	2,97
K2-1997			1,24	1,44	1,59	1,87	2,05	2,27	2,49	2,69

Tabell 11
Flomvannføringer i Mandalselva (døgnmidler).

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Mandalselva ved Øyslebø	1635	413	514	595	673	777	855	934	1040	1122
Høyeåna	101	42	52	60	68	79	87	95	106	114
Mandalselva ved innsnevring	1746	455	566	656	741	856	942	1029	1146	1235
Kjølemo	1757	458	570	660	746	861	948	1035	1153	1243
Mandalselva ved utløp	1817	483	601	696	787	908	999	1092	1216	1311

4.4 Kulminasjonsverdier

I Mandalselva ved målestasjonene 22.4 Kjølemo er det data med fin tidsoppløsning tilbake til 1985. Dataene er presentert i tabell 12 og viser at forholdet mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføring har variert fra 1,01 til 1,16.

Tabell 12
Flommer i perioden 1985 til 2017 ved Kjølemo.

Dato	Døgn-middel	Kulmina-sjon	Forh.-tall	Dato	Døgn-middel	Kulmina-sjon	Forh.-tall
	m³/s	m³/s			m³/s	m³/s	
08.10.1985	255	281	1,10	26.10.2002	352	390	1,11
06.12.1986	487	493	1,01	21.01.2003	273	302	1,10
17.10.1987	764	799	1,05	05.10.2004	417	447	1,07
31.07.1988	399	428	1,07	09.01.2005	534	570	1,07
11.11.1989	580	597	1,03	08.12.2006	499	508	1,02
30.10.1990	615	661	1,08	10.01.2007	349	354	1,01
04.11.1991	450	470	1,04	16.01.2008	489	519	1,06
03.12.1992	702	729	1,04	27.11.2009	346	351	1,01
18.01.1993	263	277	1,05	07.10.2010	466	512	1,10
02.04.1994	375	428	1,14	19.07.2011	381	411	1,08
19.01.1995	276	319	1,16	24.11.2012	354	368	1,04
07.11.1996	293	308	1,05	25.12.2013	425	490	1,15
03.03.1997	391	413	1,06	02.01.2014	397	435	1,10
26.10.1998	401	423	1,06	06.12.2015	685	733	1,07
10.06.1999	478	491	1,03	30.03.2016	350	396	1,13
01.11.2000	603	619	1,03	02.10.2017	936	1047	1,12 (1,14)
10.10.2001	481	500	1,04				

Medianverdien for alle flomhendelsene er 1,06, men data før 1996 har noe grovere tidsoppløsning enn i de siste årene, slik at forholdstallene før 1996 skulle sannsynligvis vært noe høyere. For flommen i 2017, som er den største, er forholdstallet 1,12. Kulminasjonsvannføringen som ligger i NVEs database er imidlertid noe lavere enn vannføringen Hydrateam målte i elva under flommen (1047 mot 1064 m3/s), benyttes Hydrateams måling som kulminasjonsverdi øker forholdstallet til 1,14.

Også forholdstall for målestasjonen 22.23 Laudal er vurdert. Her varierer de fra 1,02 til 1,18. For flommen i 2017 er det 1,10. Det er imidlertid mer støy i dataene for Laudal enn for Kjølemo.

Det er og gjort en sammenligning med flomforløp beregnet i forbindelse med flomberegninger for damsikkerhet for Tungesjø (Stranden 2006). Tungesjø ligger lenger nord i Mandalsvassdraget. Nedbørfeltet er drøyt 1100 km^2. Ved påregnelig

maksimal flom er forholdet mellom maksimal timevannføring og største 24 timers middel 1,11, men hvis kulminasjonen er «skjevt» plassert i døgnet, øker forholdstallet til over 1,2.

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

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

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

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

For Mandalselva ved Kjølemo gir disse formlene et forholdstall på 1,07 for vårflommer og 1,15 for høstflommer. Forholdstallet for høstflommer harmonerer godt med observasjonene ved Kjølemo i oktober 2017. Det er derfor valgt å benytte dette forholdstallet videre. Resulterende kulminasjonsvannføringer er gitt i tabell 13. Alle vannføringer fra 5-årsflom og oppover er avrundet til nærmeste 10 m³/s.

Dette betyr at vannføringen i Mandalselva ved Kjølemo øker fra 527 m³/s ved middelflom til ca. 1000 m³/s ved 50-års flom og drøyt 1300 m³/s ved 500-årsflom.

Tabell 13
Kulminasjonsvannføringer i Mandalselva. For Høyeåna er det vannføring ved kulminasjon i hovedvassdraget som er gitt. Maksimal vannføring i Høyeåna vil være større.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Mandalselva ved Øyslebø	1635	475	590	680	770	890	980	1070	1200	1290
Høyeåna	101	48	60	70	80	90	100	110	120	130
Mandalselva nedstrøms innsnevring	1746	524	650	750	850	980	1080	1180	1320	1420
Kjølemo	1757	527	660	760	860	990	1090	1190	1330	1430
Mandalselva ved utløp	1817	555	690	800	900	1040	1150	1260	1400	1510

Hvis en benytter faktorene fra følsomhetsanalysen av frekvensfordelingen til Kjølemo (tabell 10), gir det følgende utfallsrom (tabell 14). Alle verdier er her avrundet til nærmeste 100 m³/s. Det vil si at med et konfidensintervall på 90 %, er for eksempel 200-årsflommen ved Kjølemo mellom 1100 og 1400 m³/s. Eller sagt på en annen måte, det er 5 % sannsynlighet for at 200-årsflommen er større enn 1400 m³/s eller mindre enn 1100 m³/s.

Tabell 14
Beregnede flomvannføringer for Mandalselva ved Kjølemo. Maksimum- og minimumsverdiene fra følsomhetsanalysen er avrundet til nærmeste 100 m³/s.

	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Kjølemo, min	527	600	700	800	900	1000	1100	1200	1200
Kjølemo	527	660	760	860	990	1090	1190	1330	1430
Kjølemo, maks	527	700	800	900	1100	1300	1400	1700	1900

Vannføringen 2. oktober 2017, som kulminerte med ca. 1050 m³/s ved Kjølemo, kan ut fra dette karakteriseres som 50- til 100-årsflom. Hvis en imidlertid tar hensyn til den statistiske usikkerheten, vil den karakteriseres som en flom med gjentaksintervall som kan variere fra ca. 50 til 200 år.

Tilsvarende kan flommene i 1864 og 1892, som kulminerte med ca. 1200 og 1300 m³/s, karakteriseres som omkring en 200- og 500-årsflom.

For Høyeåna og lokalfeltet til Mandalselva er det vannføringen ved flom i hovedvassdraget som er beregnet. Ved flomberegning spesielt for Høyeåna, burde det sannsynligvis benyttes en høyere faktor enn 1,15 mellom kulminasjons- og døgn-middelvannføring. I Søgneelva var det forholdstall på 1,16 og 1,36 ved høstflommene i henholdsvis 2017 og 1987.

4.5 Klimaendringer

I henhold til NVEs klimastrategi (NVE-rapport 15-2010, Klimatilpasning innen NVEs ansvarsområder) skal det tas hensyn til et endret klima for tiltak/ beslutninger med lang levetid. For eksempel ved å ta hensyn til endringer i flomstørrelser ved arealplanlegging og bygging/ ombygging av viktig infrastruktur.

I NVE-rapport 81-2016 «Klimaendring og framtidige flommer i Norge» er det anbefalt å benytte 20 % økning av flomstørrelsene for alle større nedbørfelt i Agder. Dette legges også til grunn her, resulterende flomverdier er gitt i tabell 15.

Tabell 15
Kulminasjonsvannføringer med 20 % klimapåslag i Mandalselva. For Høyeåna er det vannføring ved kulminasjon i hovedvassdraget som er gitt. Maksimal vannføring i Høyeåna vil være større.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Mandalselva ved Øyslebø	1635	570	710	820	920	1070	1180	1280	1440	1550
Høyeåna	101	60	70	80	100	110	120	130	140	160
Mandalselva v. innsnevring Nomevatn	1746	630	780	900	1020	1180	1300	1420	1580	1700
Kjølemo	1757	630	790	910	1030	1190	1310	1430	1600	1720
Mandalselva ved utløp	1817	670	830	960	1080	1250	1380	1510	1680	1810

Når en tar hensyn til ventede endringer i flomvannføringer som følge ab klimaendringer, kan flommen i 2017 karakteriseres som omkring en 20-årsflom, flommen i 1864 som en 50-årsflom og flommen i 1892 som en 100-årsflom.

4.6 Flommen i Mandalselva oktober 2017

Flommen i Mandalselva i starten av oktober 2017 var forårsaket av vedvarende regn. Et kraftig lavtrykk traff sørspissen av Norge om kvelden fredag 29. september, og frem til mandag morgen 2. oktober om morgenen kom det mange steder i Agder mellom 200 og 300 mm regn. Til sammenligning er midlere årsnedbør i Mandals-vassraget omkring 1500 – 1800 mm (Førland, 1991). Dette førte til stor flom i en rekke vassdrag, blant annet Mandalselva.

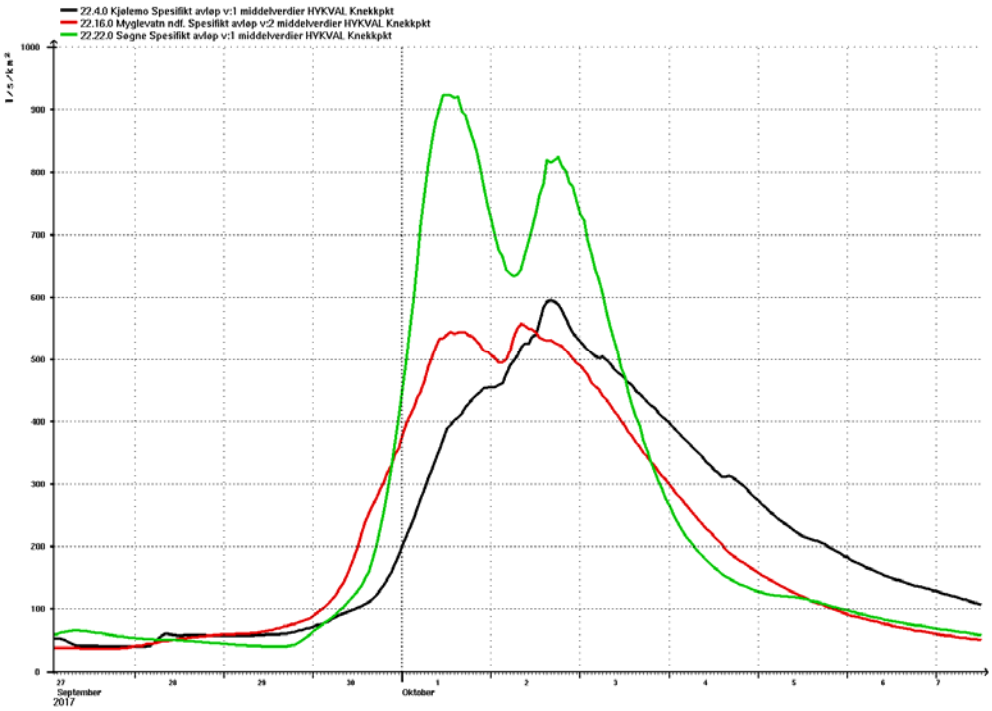
En gjennomgang av magasindata fra Mandalselva, viser at det var overløp og driftsvannføringer gjennom kraftverk, som tilsvarer en spesifikk avrenning på opp mot 600 – 700 l/s km^2 fra magasinområdene i nord og øst og 1000 – 1300 l/s km^2 fra magasinene i vest (Langsholt og Holmqvist, 2017).

Til sammenligning var den spesifikke vannføringen, eller vannføring pr arealenhet, ca. 600 l/s km^2 i Mandalselva ved Kjølemo. Mens i den østlige uregulerte sideelven Kosåna, hvor stasjonen Myglevatn ligger, var avrenningen ca. 550 l/s km^2 (figur 11). I Kvinavassdraget, rett vest for Skjerkamagasinet, ble det registrert en spesifikk vannføring på over 1800 l/s km^2 ved den uregulerte stasjonen 25.32 Knabåni. Dataene fra Knabåni er imidlertid ikke kvalitetskontrollert enda, men bekrefter likevel magasindataene som viser at det var svært høye tilsig/ flommer i den nordvestlige delen av Mandalsvassdraget. I Søgneelva, som i større grad representerer områdene sør for magasinområdene i Mandalsvassdaget, ble det målt en avrenning på over 900 l/s km^2.

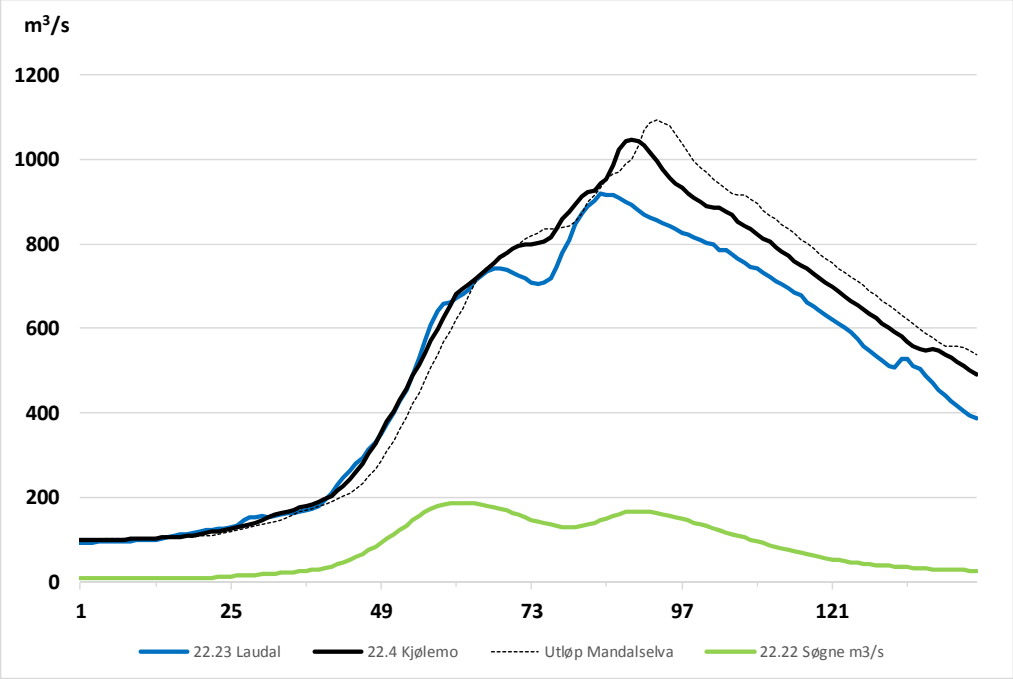
I figur 12 er vannføringen ved stasjonene Laudal, Kjølemo og Søgne illustrert. I tillegg er det beregnet en vannføring ved utløp av Mandalselva. Vannføringen kulminerte omkring 4 timer tidligere i Mandalselva ved Laudal enn ved Kjølemo. Vannføringen var her på sitt maksimale mandag 2. oktober om formiddagen/ ettermiddagen. Det er i beregningene antatt en «gangtid» på ca. 4 timer også fra Kjølemo til utløpet av Mandalselva.

I Søgneelva, kulminerte vannføringen omkring 1 døgn tidligere, men det var en sekundær flomtopp her som falt sammen med kulminasjonstidspunktet i Mandalselva. Vannføringen i Søgneelva er skalert med hensyn på areal for å representere lokaltilsiget mellom Kjølemo og utløpet i havet. Dette gir en maksimalvannføring nederst i Mandalselva på ca. 1100 m^3/s, mens den kulminerte med ca. 1050 m^3/s ved Kjølemo og ca. 920 m^3/s ved Laudal.

At flommen ble så stor i Mandalselva, skyldes at det regnet over flere dager, slik at vannføringen fikk tid til å bygge seg opp. Ved Kjølemo økte vannstanden i elva med over 5 m (!) fra fredag ettermiddag til mandag formiddag. Forholdene minner om de en hadde i 1892, selv om det da må ha regnet enda mer. Fra artikkelen til Erik Skjævesland siteres følgende om flommen 3.oktober 1892 « Elvi vaks uhyggjeleg fort. Då folk på Skjævesland kom frå kyrkje sundag, var Nesevegen turr. Men i kveldingi stod vatnet høgt over slettene.» «Det hadde regna i 3 døgn, serleg laurdag og sundag regnde det voldsomt. Og det satte Elve og bekke i denne skrækkelige stilling».



Figur 11
Spesifikk vannføring eller vannføring pr arealenhet for stasjonene 22.4 Kjølemo (svart), 22.16 Myglevatn (rød) og 22.22 Søgne (grønn) 27. september – 7. oktober 2017. Enheten på y-aksen er l/s km^2.



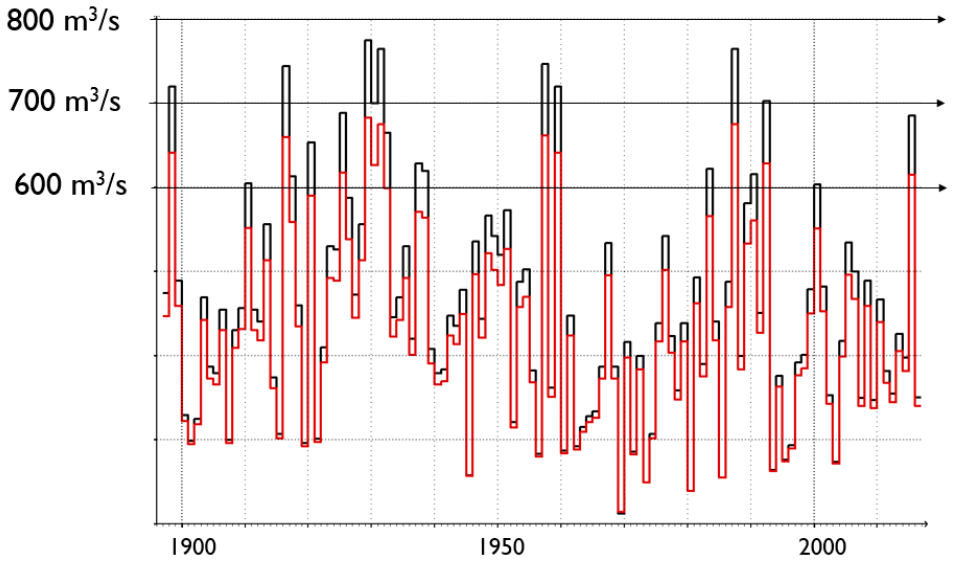
Figur 12
Observert vannføring 29. september – 4. oktober 2017 ved stasjonene 22.4 Kjølemo (svart), 22.23 Laudal (blå) og 22.22 Søgne (grønn). Ved utløp av Mandalselva (stiplet strek) er vannføringen beregnet. Enheten på x-aksen timer.

5. Tidligere flomberegninger

I 2003 ble det utført flomberegninger for flomsonekartlegging i Mandalselva. I forhold til de beregningene har midlere flom økt med ca. 20 %, mens 20 – 500-årsflommer har økt med i størrelsesorden 30 – 45 %.

Årsakene er både revisjon av vannføringskurven ved målestasjonen Kjølemo (figur 13), at det i 2017 kom en ny rekordstor flom i vassdraget og at en nå har inkludert informasjon fra to store historiske flomhendelser i analysene. Erfaringene fra flommen i 2017 medførte også at forholdstallet mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring ble økt.

Når også påslag for klimaendringer tas hensyn til, blir økningen i forhold til 2004-beregningen enda større, anslagsvis 60 - 70 % for 20- – 500-årsflommer.



Figur 13
Flomvannføringer ved Kjølemo 1896-2016 før (rød) og etter (svart) revisjon av vannføringskurven i 2017.

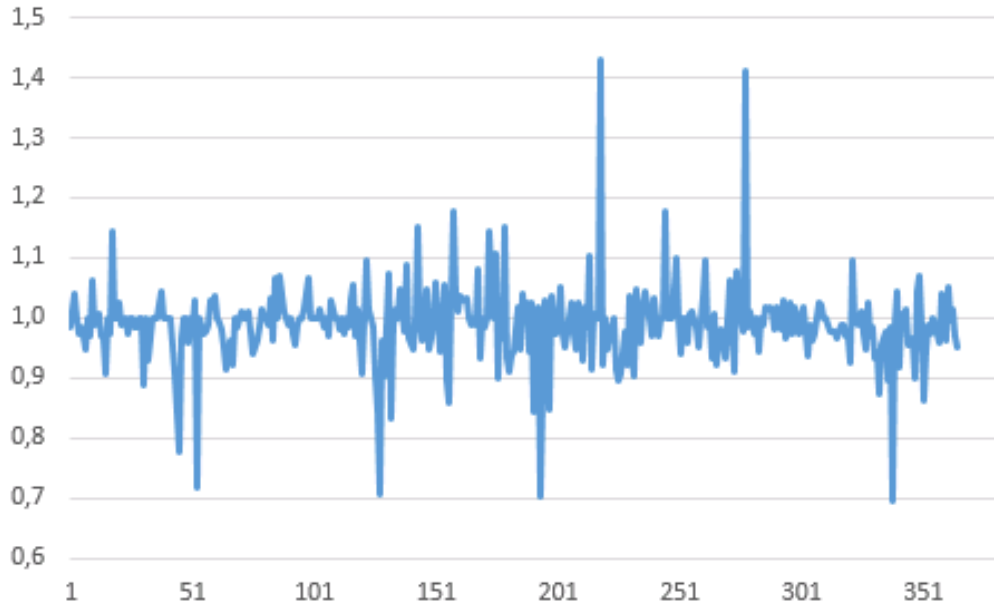
I 2005 ble det gjennomført flomberegninger for damsikkerhet i Mandalsvassdraget (Stranden, 2005). Der ble blant annet 500-årsflom for Mannflåvatn, som har et nedbørfelt på 1486 km^2, beregnet til 930 m^3/s eller 626 l/s km^2. Til sammenligning er i denne rapporten 500-årsflom ved Kjølemo, som har et nedbørfelt på 1757 km^2, beregnet til 1330 m^3/s eller 756 l/s km^2 uten klimapåslag og 1600 m^3/s (911 l/s km^2) med klimapåslag.

Det antas at nye flomberegninger for damsikkerhet også vil gi høyere flomverdier i Mandalsvassdraget enn de som ble funnet i 2005, fordi datagrunnlaget er endret.

6. Usikkerhet

Usikkerheten i de beregnede flomverdiene skyldes flere forhold. 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. Under flommen i 2017 ble det gjort vannføringsmålinger ved vannføringer større enn 1000 m³/s. Det vil si at alle observerte vannstander/ vannføringer ved Kjølemo er dekket av målinger. Dette er svært bra.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at de eldste dataene i databasen er basert på en daglig observasjon av vannstand. Ved Kjølemo gjelder dette data fra 1896 – 1985. Disse daglige vannstandsavlesningene betraktes å representere et døgnmiddel, men kan avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmidlet. De siste drøyt 30 årene har vi data med fin tidsoppløsning. En kjapp test av data fra 2017 viser at kl. 12-verdien i gjennomsnitt er lik døgnmidlet, men for enkeltdager kan det være avvik på 30 – 40 % (figur 14).



Figur 14
Forholdet mellom vannføringen kl. 12 og døgnmiddelvannføringen ved målestasjonen Kjølemo i 2017. Enheten langs x-aksen er dagnr.

I Mandalsvassdraget er det mer enn 100 år med observasjoner. I tillegg har vi informasjon om to historiske flomhendelser på 1800-tallet. Men selv med så lange tidsserier, er det knyttet usikkerhet til frekvensanalysene (se figur 10), men også til valg av statistisk fordelingsfunksjon. Her er det valgt å benytte General Extreme Value-fordelingen.

Det er også usikkerhet knyttet til benyttet forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring. Erfaringene fra flommen i 2017 gjør at det nå er benyttet et forholdstall på 1,15, mens det i tidligere flomberegninger ble benyttet 1,04.

Videre er det usikkerhet knyttet til virkningen av kraftutbyggingene på flomforholdene i vassdraget. Det er åpenbart at vårflommene er endret, men høstflommene er i mindre grad endret og har vært de største i Mandalsvassdraget både før og etter regulering.

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 1.

Referanser

NVE Retningslinjer 04-2011: Retningslinjer for flomberegninger til §i forslrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg.

Førland, Eirik. Nedbørnormaler, normalperiode 1961-90. DNMI-rapport 39/93.

Langsholt, Elin og Holmqvist, Erik 2017: Flommen på Sørlandet 30.9 – 3.10.2017. NVE-rapport 80-2017.

Lawrence, Deborah 2016. Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE-rapport 81 2016.

Orvedal, Kjartan 2018. Estimat av vannføringer for historiske flommer ved Øyslebø. Internt notat datert 16.03.2018. NVE 201707505-5.

Skjævesland, Erik 1938. Største flaumen som heve vore i Mandalselvi på fleire hundre år. Artikkel fra «Agder Tidend» gjengitt i «Marnar-minner» 1996.

Stranden, Jon Olav 2006, CM-Consulting. Flomberegning Mandalsvassdraget. Oppdragsrapport for Agder Energi.

Sælthun, Nils Roar 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport 14-97, NVE.

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

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