RAPPORT

Nr 76/2018

Flomberegninger for Flaksvatn i Tovdalselva

REVISJON AV RAPPORT 14/2003 - REVIDERT VERSJON JANUAR 2004

Solveig Andersdatter Helland

Rapport nr 76-2018

Flomberegninger for Flaksvatn i Tovdalselva

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Forfatter: Solveig Andersdatter Helland

Trykk: NVEs hustrykkeri
Forsidefoto: Flakkbrua under flommen 2.oktober 2017, Foto: Wenche Flaa Eieland
ISBN: 978-82-410-1735-3

Sammendrag: I forbindelse med mulige flomsikringstiltak langs Tovdalsvassdraget er det utført flomberegninger. Beregningene kan også legget til grunn i flomsonekartlegging.
Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for utløpet av Flaksvatn og Topdalselva ved fjorden.
Dette er en revidert versjon av rapport nr 14/2003- revidert versjon januar 2004.

Emneord: Flaksvatn, flomberegning, flomvannføring, Birkeland, Birkenes kommune

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

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

September, 2018

Flomberegninger for Flaksvatn i Tovdalselva

Revisjon av rapport 14/2003 - revidert versjon januar 2004

Norges vassdrags- og energidirektorat
2018

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Beskrivelse av oppgaven **6**

2 Beskrivelse av vassdraget **6**

3 Hydrometriske stasjoner **9**

4 Beregning av flomverdier **12**

4.1 Observerte flommer 14
4.2 Middelflom 15
4.3 5-1000-års flom 16
4.4 Kulminasjonsverdier 18
4.5 Samtidighetsproblematikk i flom 20
4.6 Klimaendringer 23
4.7 Flommen i Tovdalsvassdraget 2017 24

5 Tidligere flomberegninger **24**

6 Usikkerhet **25**

7 Referanser **27**

Forord

Det ble i 2003 utarbeidet flomberegninger for Flaksvatn i Tovdalsvassdraget i forbindelse med flomsonekartlegging. Flomsonekart er et viktig hjelpemiddel i forbindelse med arealdisponering langs vassdraget og for beredskapsplanlegging. I september/oktober 2017 rammet en stor flom flere vassdrag på Sørlandet, blant annet Tovdalsvassdraget. Dette var den største flommen i Tovdalsvassdraget siden 1800-tallet. Slike store flommer medfører at datagrunnlaget for flomberegninger endres. I Tovdalselva ble det også gjort målinger i felt under flommen som førte til at vannføringskurven måtte endres. Det har derfor vært behov for å oppdatere flomberegningene for Tovdalsvassdraget. I tillegg til dette danner flomberegningene grunnlaget for å se på sikringstiltak i de flomutsatte områdene langs elva, derfor må nye flomberegninger ligge til grunn for dimensjonering av disse.

Rapporten er utarbeidet av Solveig A. Helland. Rapporten er kvalitetskontrollert av Erik Holmqvist og Per A. Glad.

Tønsberg, september 2018

Anne Cathrine Sverdrup
regionsjef

Solveig A. Helland
avdelingsingeniør

Sammendrag

Revisjon av flomberegninger er utført på grunn av endring i vannføringskurve på stasjonen 20.3 Flaksvatn som følge av flommen oktober 2017. Resultatet er presentert i tabell 1 a og b.

Tabell 1a. Kulminasjonsvannføringer i Tovdalselva med forholdstall 1.05.

	Areal [km^2]	**QN** [m^3/sek]	**QM** [m^3/sek]	**Q5** [m^3/sek]	**Q10** [m^3/sek]	**Q20** [m^3/sek]	**Q50** [m^3/sek]	**Q100** [m^3/sek]	**Q200** [m^3/sek]	**Q500** [m^3/sek]	**Q1000** [m^3/sek]
20.3 Flaksvatn	1781	59	426	541	652	768	930	1061	1202	1403	1568

Tabell 1b. Kulminasjon med 20% klimapåslag

	Areal [km^2]	**QM** [m^3/sek]	**Q5** [m^3/sek]	**Q10** [m^3/sek]	**Q20** [m^3/sek]	**Q50** [m^3/sek]	**Q100** [m^3/sek]	**Q200** [m^3/sek]	**Q500** [m^3/sek]	**Q1000** [m^3/sek]
20.3 Flaksvatn	1781	512	650	783	921	1116	1274	1443	1684	1882

Vassdraget er lite regulert, bare 9 %. Det er registrert en verdi pr døgn kl 12 døgnmiddelverdier fra 1899 til 1979. Denne verdien er antatt å være et representativt døgnmiddel. I 1980 fikk stasjonen timesverdier. Tidsserien er karakterisert som god. I en klassifisering fra 1 til 3 der 1 er beste klasse, blir disse beregningene liggende under klasse 1.

Den største observerte flommen i vassdraget var flommen i oktober 2017. Vannføringen ble målt av NVE til å være 1195 m^3/sek. I tillegg ble flere punkter i terrenget langs vassdraget målt inn ved kulminasjon. Innmålt kulminasjonshøyde korresponderer godt til modellert (HEC-RAS) vannlinje ved utløpet av Flaksvatn.

Det er antatt et forholdstall mellom døgnmiddel og kulminasjon på 1.05. Dette er ikke endret fra forrige rapport, selv om vannføringskurven er endret.

Ut i fra foreliggende beregninger kan 2017 flommen karakteriseres som en 200-års flom. Ved et endret klima, 20% klimapåslag, forventes det at 200-års flommen ville vært litt under en 100-års flom.

1 Beskrivelse av oppgaven

Det skal konstrueres en HEC-RAS modell for Tovdalsvassdraget fra like oppstrøms Flaksvatn og ned til sjøen. Dette er et forprosjekt etter flommen i oktober 2017.

Som grunnlag for denne modellen er det nødvendig med nye flomfrekvensanalyser fordi vannføringskurven ble endret etter den siste flomhendelse (2017). I denne flomfrekvensanalysen skal det beregnes nye vannføringer for midlere flom og flom med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år. Utgangspunktet for beregningene er vannføringen i innløpet og utløpet av Flaksvatn og vannstanden i selve Flaksvatn.

Det er gjennomført flomberegninger for utløpet av 20.3 Flaksvatn og utløpet av Topdalselva i Topdalsfjorden (Tabell 2).

Tabell 2. Punkter i vassdraget der det er beregnet flomvannføring med forskjellig gjentaksintervall.

	Areal [km^2]
Utløpet av Flaksvatn	1781
Utløpet av Topdalselva i fjorden	1867

2 Beskrivelse av vassdraget

Tovdalsvassdraget ligger i en overgangssone mellom Øst- og Vestlandet, kyst og innland. Fra fjellområdene skjer dreneringen gjennom dype daler i et kupert heilandskap. Som elvesystem er vassdraget karakterisert ved at hovedelva har liten gradient. Den binder sammen et nett av innsjøer og fanger opp mange sideelver og bekker. De mange små vannene er forbundet med korte strie elveløp, av og til trange gjel.

Tovdalsvassdraget ligger mellom Otra og Nidelva, og munner ut i Topdalsfjorden nordøst for Kristiansand. Elva har sitt utspring i Mjåvatn-Straumsfjorden sør for Valleheiane i Setesdal og strekker seg i sørøstlig retning. Mesteparten av vassdraget ligger i Aust-Agder fylke med mindre deler i Telemark (nordøstre del) og Vest-Agder (sørvestre del). Vassdraget berører kommunene Birkenes, Bygland, Evje, Hornnes, Froland, Fyrresdal, Iveland, Kristiansand, Valle og Åmli. Tovdalselva, som utgjør hovedelva i vassdraget, er 12 mil lang. Vassdraget består i hovedsak av hovedelva i øst og det regulerte Uldalsåna-Skjeggedalsvassdraget i vest, som tilløper hovedelva i Herefossfjorden. Skjeggedalsvassdraget har igjen flere større delfelt som Vatndalselva. Hovlandsåna, Rettåna med mesteparten av Ogge. Av det totale nedbørfeltet tilfører Ulldalsåna-Skjeggedalselva 58%, og er således mer vannrik enn hovedelva. Lenger sør, ved Flaksvatn, tilløper Dikeelva med mindre del av Ogge. Oggevatnet har to utløp, til Dikeelva og Rettåna. Dikeelva tilløper Flaksvatn direkte, mens Rettåna drenerer til Flaksvatn via Hanefossen og Tovdalselva. To elver tilløper dermed Flaksvatn, Tovdalselva og Dikeelva. Dikeelvas nedbørfelt er 46 km^2, mens nedbørfeltarealet ved utløpet av Flaksvatn er 1781km^2. Fra Flaksvatn drenerer vassdraget samlet i Topdalselva til utløpet i Topdalsfjorden.

Vassdraget er noe regulert. Reguleringene er avgrenset til den delen av vassdraget som drenerer til Hanefossen, dvs. i Uldalsåna-Skjeggedalsvassdraget. Den delen av vassdraget som drenerer til Herefossen, Tovdalselva nord for Heresfjorden, er uregulert. Reguleringene gir en reguleringsprosent for hele Tovdalselva på 9 %. Dette innebærer at totalt 9 % av det totale årstilsiget kan magasineres. Det skal lages nye tilsigsserier for Tovdalselva i 2018. En oversikt over de ulike reguleringsmagasinene i vassdraget med oppstarttidspunkt er gitt i tabell 3. Det antas at reguleringene ikke har særlig innvirkning på flomvannføringer nede ved Flaksvatn.

Tabell 3. Oversikt over reguleringsmagasiner i Tovdalsvassdragets nedbørsfelt. Opplysningene er hentet fra NVEs hydrologiske database Hydra II fra grunnlaget for beregnet tilsigsserie for 20.3 Flaksvatn.

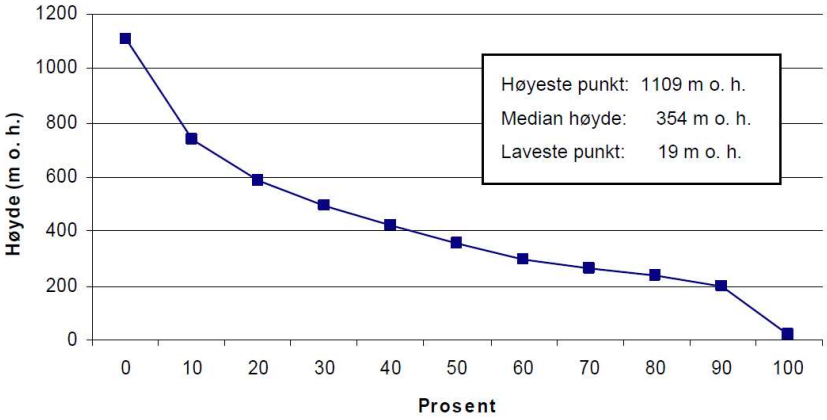
Magasin	Starttidspunkt
Hanefoss	02.01.1961
Ljosevatn	02.01.1961
Koldstrømmen	21.07.1963
Vikstølsvatn	02.01.1961
Høvringen	02.01.1961
Eptevatn	03.01.1972

Ved utløpet i fjorden har vassdraget et totalt nedbørfelt på 1867 km^2. Det er et relativt lavtliggende vassdrag. 70 % av Flaksvatnets nedbørfeltet ligger under 500 moh., mesteparten mellom 200 og 500 moh. (figur 1). Median høyde er 354 moh. Høyeste punkt i vassdraget er på 1109 moh. helt i nordvest.

Feltparametere for Flaksvatnets totale nedbørfelt er oppsummert i tabell 4.

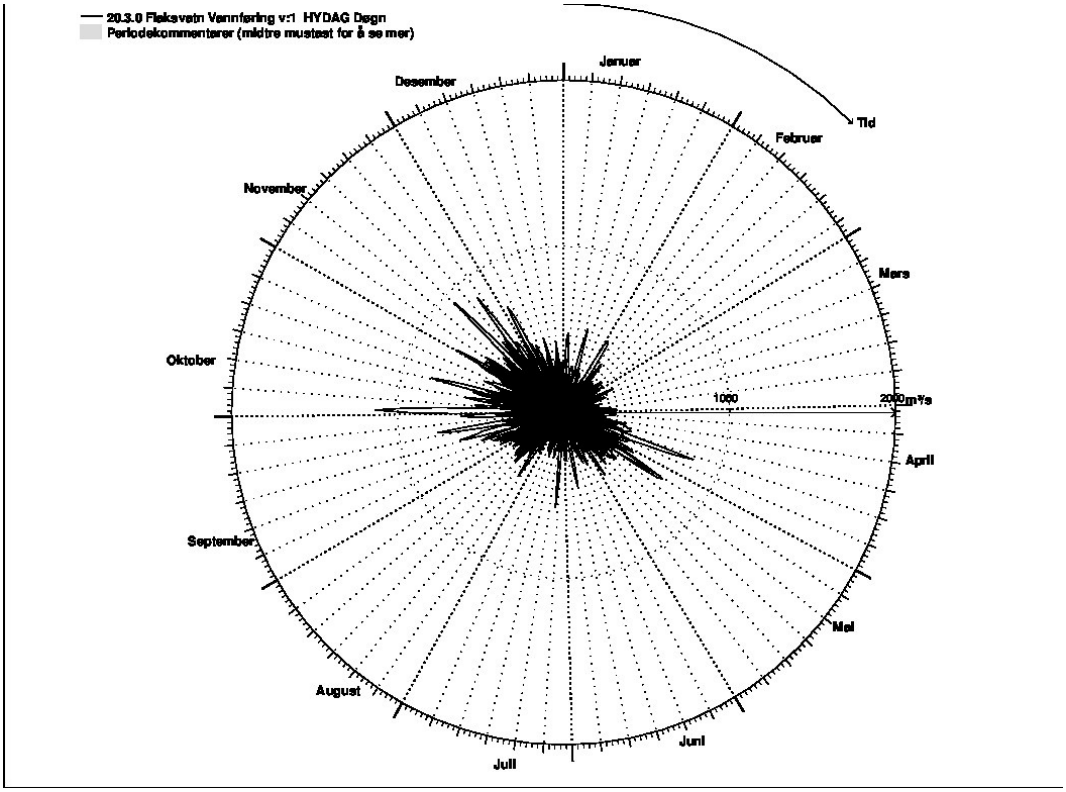
Tabell 4. Feltparametere for Flaksvatnets nedbørfelt. Feltparametere er hentet fra NVEs hydrologiske database Hydra II.

	Areal [km^2]	Eff. sjø [%]	Sjø [%]	Snaufj. [%]	Felt-lengde [km]	Elvas gradient [m/km]	QN (61-90) [l/s*km^2]
20.3 Flaksvatn	1781	0.6	7.6	5.9	96.7	6.7	33.3



Figur 1. Hypsografisk kurve for Flaksvatns nedbørsfelt. Kurven viser andelen av det totale feltet (1781km^2) som ligger over korresponderende høyder.

Tovdalselva har to flomsesonger. Store flommer forekommer både om høsten og om våren. Hyppigst er nok flommene om høsten i månedene august til november, men også en del om våren i april til mai. Dette fremkommer av figur 2.



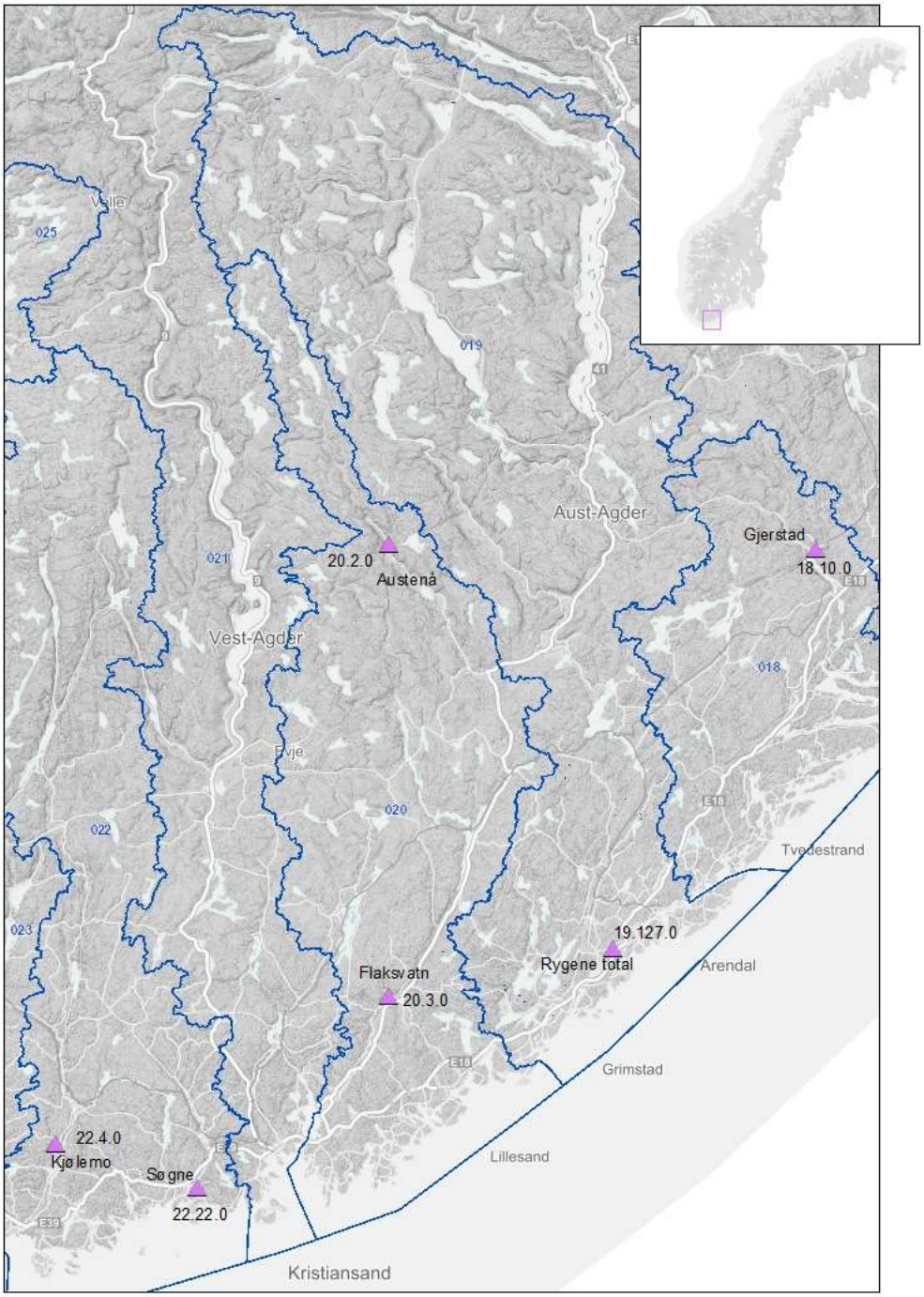
Figur 2. Flommer i Tovdalsvassdraget ved 20.3 Flaksvatn fra 1899-2017. Sirkelen representerer året med januar øverst, og mars/april til høyre.

3 Hydrometriske stasjoner

I Tovdalselvas nedbørsfelt finnes det flere målestasjoner av vannføring/vannstand som er brukt i den forrige flomfrekvensanalysen i 2004. 20.3 Flaksvatn, 20.2 Austenå, 20.6 Ogge og 20.11 Tveitdalen. 20.6 Ogge ble ikke analysert i forrige rapport fordi stasjonen har svært usikker vannføringskurve. Derfor blir den sett bort i fra også her. 20.11 Tveitdalen er et svært lite nedbørsfelt på bare 0.44 km^2. Denne ble i forrige rapport sett bort i fra pga for store forskjeller i feltegenskaper og blir derfor ikke undersøkt i denne rapporten heller. Det finnes også stasjoner i nærliggende områder utenfor nedbørfeltet som er sammenlignbare med Flaksvatn, enten pga klima eller feltkarakteristika, eller begge. Dette er 18.10 Gjerstad, 22.4 Kjølemo, 19.127 Rygene total og 22.22 Søgne. Oversikt over stasjonene finnes i figur 3, og feltkarakteristika finnes i tabell 5.

Tabell 5. Feltparametere for målestasjoner i Tovdalsvassdraget og omegn.

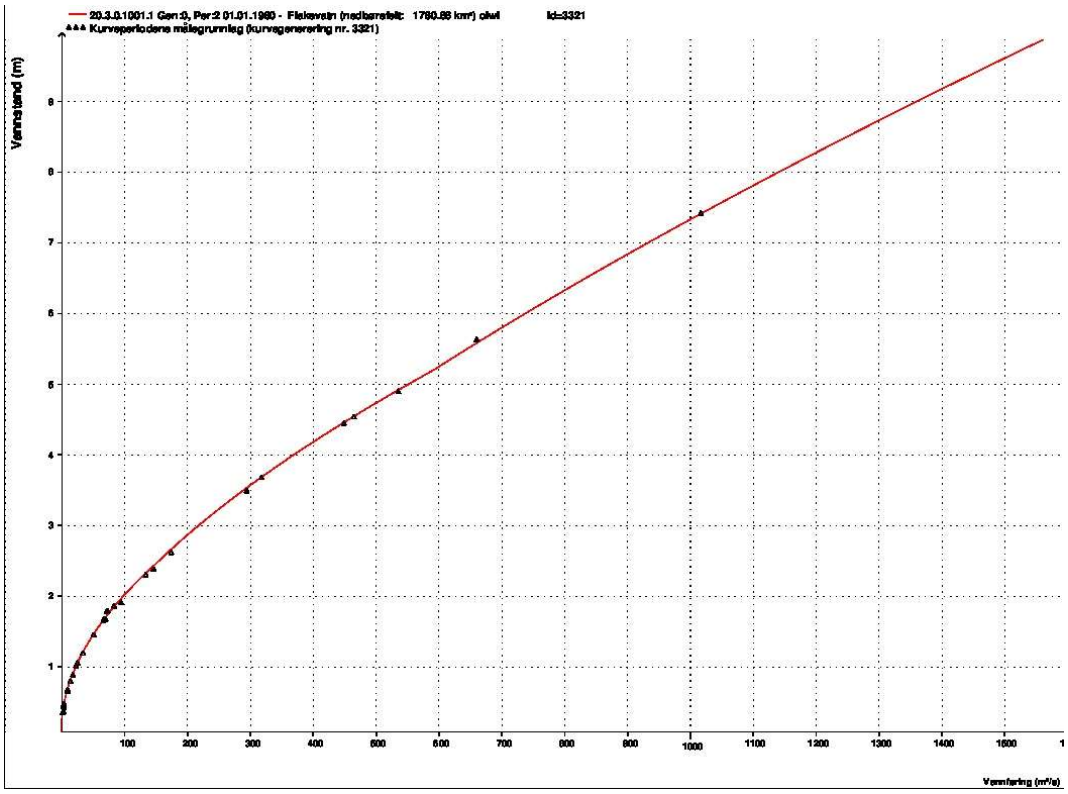
Stasjon	**Feltareal** (km^2)	**QN (61-90)** ($l/s*km^2$)	**Eff.sjø** (%)	**Høydeintervall** (moh.)	**Median høyde** (moh.)
20.3 Flaksvatn	**1781**	**33**	**0.59**	**19-1109**	**354**
20.2 Austenå	277	37	2.00	225-1109	773
18.10 Gjerstad	237	25	1.64	50-659	294
22.22 Søgne	210	30	0.07	10-464	182
22.4 Kjølemo	1757	47	0.57	20-1162	559
19.127 Rygene total	3950	29	1.87	14-1521	543



Figur 3. Kart over stasjoner og tilhørende nedbørsfelt brukt for flomberegninger for Tovdalsvassdraget.

20.3 Flaksvatn ligger på vestlig side av vannet og registrerer vannstand. Stasjonen har vært flyttet, men fordi det bestemmende profilet, som ligger i utløpet av vannet er uforandret, har ikke dette stor betydning. Nedbørfeltarealet er 1781 km^2, og bidrar med 95% til avrenningen i Tovadalsvassdragets totale nedbørfelt. Observasjonene i denne

serien er fra 1899, og det finnes digitale data med fin tidsoppløsning for stasjonen fra 1980 til i dag. For tidligere år er vannføringen kun registrert en gang i døgnet. Vannføringskurven antas å ha god kvalitet, meget bra på flom og middelvannføring, bra på lavvann (figur 4).



Figur 4. Vannføringskurve for 20.3 Flaksvatn. Vannføringsmålinger er markert med sorte prikker. Vannstand på y-aksen, vannføring på x-aksen. Øverste punkt ble målt inn under flommen i 2017. Dette førte til endring i vannføringskurven og reduksjon av vannføringen i perioden 1980-2016.

20.2 Austenå ligger i Tovdalselva på 225 moh. (NN54), rett oppstrøms Storebru bru på Austenå. Her er det også en lang observasjonsserie, med målinger tilbake til 1924. Nedbørsfeltets areal er 277 km^2, og en stor del består av fjellområder og skog (20% snaufjell og 62 % skog). Feltets middelhøyde er på ca 770 moh. Sammenlignet med Flaksvatn har Austenå relativt større sjøandel (eff.sjø på 2%), som igjen vil føre til noe større flomdempende effekt. Vannføringskurven for målestasjonen har tre kurveperioder (1924-28, 1928-82, 1983- dags dato). For de siste to periodene er det utført vannføringsmålinger for vannføringer opp til 116 m^3/sek og 122 m^3/sek som svarer til 153% og 161% av middelflom.

Datakvaliteten anses for å være god på høye vannføringer. Vassdraget er uregulert. Dataserien er uten homogenitetsbrudd (Astrup, 2000).

18.10 Gjerstad ligger i Gjerstadelva øst for Tovdalselva. Den drenerer grenseområdene mellom Aust-Agder og Telemark. Nedbørfeltet er uregulert og har et areal på 200 km^2. Det er utført vannføringsmålinger opp til ca 194 m^3/sek. Midlere flom er ca 91 m^3/sek. Det er godt samsvar mellom vannøringsmålinger og vannføringskurven.

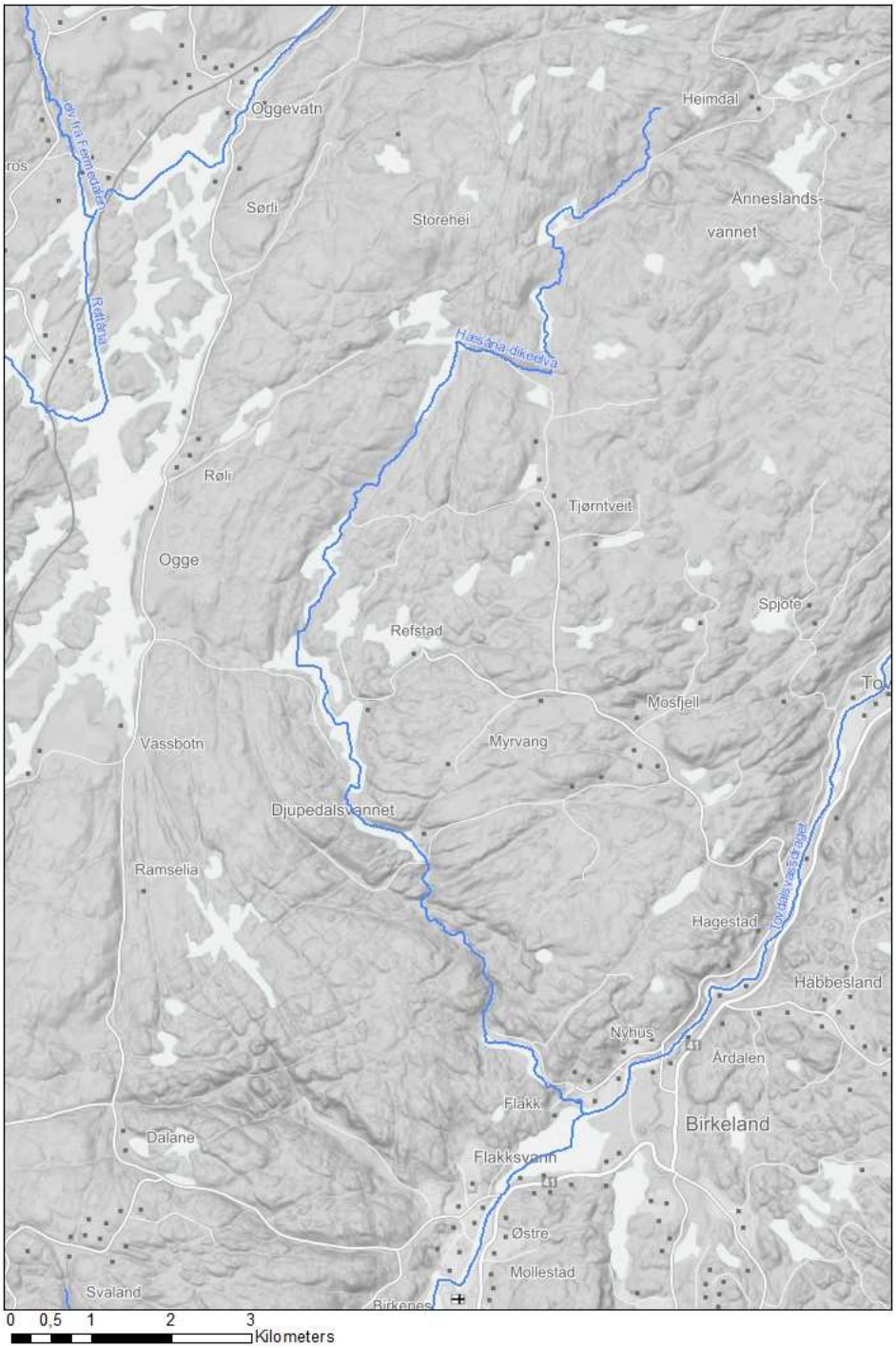
22.4 Kjølemo ligger i nedre del av Mandalselva vest for Tovdalselva. Nedbørsfeltet er 1757 km^2. Stasjonen har vært i drift siden 1896, og har derfor like lang observasjonsserie som 20.3 Flaksvatn. Vassdraget har vært regulert siden 1930, med en reguleringsprosent på 25%. Dette betyr at avløpsdata fra 22.4 Kjølemo ikke er direkte sammenlignbare med avløpsdata fra 20.3 Flaksvatn. Under flommen i 2017 gikk magasinene med overløp, og dermed kan avrenningen under denne hendelsen betraktes som tilnærmet uregulert.

19.127 Rygene total ligger nederst i Nidelva i Arendalsvassdraget, og har en sammenkoblet serie av observerte data fra 19.40 Lunde mølle (1900-1978) og 19.127 Rygene total (1977-dags dato)(NVE-rapport 20/2017). Nedbørfeltet er på 3950 km^2. Vassdraget er svært regulert (siden 1914) med en reguleringsprosent på 50%. Avløpsdata er derfor ikke direkte sammenlignbare med avløpsdata fra 20.3 Flaksvatn.

22.22 Søgne ligger i Søgneelva sørvest for Flaksvatn. Stasjonen ble opprettet i 1973. Under flommen i 2017 ble det utført vannføringsmålinger og vannføringskurven ble revidert. Vannføringen som ble registret var på 194 m^3/sek. Midlere flom er på 86 m^3/sek. Det antas at flomverdiene er relativt gode.

4 Beregning av flomverdier

Flaksvatnet har i hovedsak tilløp fra to elver, Tovdalselva og Dikeelva (Figur 5), men også en del lokaltilsig. Denne flomberegningen ser på to punkter i vassdraget, rett utløpet av Flaksvatn og utløpet av Topdalselva i fjorden. Dikeelva pluss lokaltilsiget utgjør en minimal andel av det totale tilløpet, slik at man antar tilsiget fra disse vil ligge innenfor usikkerhetene i flomberegningene. Det er antatt at Flaksvatn har liten eller ingen flomdempende effekt (sjø areal på 0.65 km2). Tovdalselva utgjør 95.7% av Flaksvatnets nedbørfelt, mens Dikeelva bare 2.6% og lokaltilsiget 1.7%.



Figur 5. Kart over tilløpselver til Flaksvatn, Tovdalselva og Dikeelva.

4.1 Observerte flommer

De største observerte flommene i Tovdalsvassdraget er gitt i tabell 6. Dette er de samme flomhendelsene som i forrige flomberegningsrapport (NVE rapport 14/2003), men i tillegg kommer flommen i 2017. Denne flommen var mye større enn alle andre flomhendelser i løpet av måleperioden helt tilbake til 1899. Vannføringsmålingene under denne flommen har ført til endring i vannføringskurven med virkning tilbake til 1980. Dette er fordi ikke alle flomhendelsene har registrert kulminasjonsvannføring, da timesverdier ikke ble registrert før etter 1980. Datakvaliteten på tidsserien vurderes som meget bra på flom og normalvannføring, samt bra på lavvann.

Tabell 6. De seks største årsflommene i Tovdalselva ved 20.3 Flaksvatn i løpet av observasjonsperioden 1900- 2017 og ved 20.2 Austenå i perioden 1924-2017. Hentet fra NVEs dataarkiv Hydra II. Strek betyr at informasjon om kulminasjonsvannføringen ikke er funnet i Hydra II.

Stasjon	Observasjons-periode	År	Dato	Døgnmiddel-vannføring [m^3/sek]	Døgnmiddel-vannføring [l/sek * km^2]	Kulminasjons-vannføring [m^3/sek]
20.3 Flaksvatn	1899-2017	2017	02/10	1134	637	1195
		1959	16/11	934	524	-
		1949	24/11	864	485	-
		1937	22/04	832	467	-
		1987	16/10	824	463	858
		1930	22/09	767	431	-
20.2 Austenå	1924-2017	1927	04/06	131	473	-
		1987	16/10	130	469	134
		2017	02/10	129	466	174
		2008	01/05	124	448	129
		1938	04/10	115	415	-
		2014	31/08	113	408	163

4.2 Middelflom

Selv om vannføringskurven er endret er ikke middelflommen vesentlig endret. Vannføringskurven er ikke endret for målinger gjort før 1980. Det relativt korte tidsintervallet for endring, er grunnen til at endringen i middelflom (1900-2017) er tilnærmet lik null (~3m^3/sek). For perioden 1900-1960 er midlere flom (QM) 416m^3/sek og for perioden 1964-2017 er QM 397 m^3/sek. Dette viser en tendens til at middelflom avtar noe i størrelse som følge av reguleringen som ble foretatt fra 1960-1964. Spesifikk middelflom var 230 l/sek km^2 i perioden 1964-2002, 234 l/sek km^2 i 1900-1960 og er nå (1964-2017) 223 l/sek km^2 (se tabell neste side). Tabell 7 viser stasjoner i og nær Tovdalsvassdraget med tilhørende middelflom.

Tabell 7. Stasjoner i og nær Tovdalsvassdraget med tilhørende middelflom.

Stasjon	Periode	Antall år	Areal [km^2]	Midlere flom QM	
				[m^3/s]	[l/sek *km^2]
20.3 Flaksvatn	1900-2017	118	1781	406	228
20.3 Flaksvatn	1900-1960	60	1781	416	234
20.3 Flaksvatn	1964-2017	53	1781	397	223
20.2 Austenå	1924-2017	94	277	76	266
18.10 Gjerstad	1981-2017	37	237	91	385
22.22 Søgne	1974-2017	44	206	86	415
22.4 Kjølemo*	1867-2017	122	1757	458	261
19.127 Rygene total	1976-2016**	41	3946	418	106

*Fra NVE rapport 15/2018, ** Det finnes to tidsperioder i NVE rapport 20/2017, dette er den som er antatt som mest representativ for Arendalsvassdraget .

Av midlere flom i tabellen over observeres det en høyere vannføring nær kysten, spesielt Søgne, med 415 l/sek km^2. Dette kan forklares med at det er mer intens nedbør nær kysten, før det avtar inn over land og mot øst.

Ved sammenligning av Flaksvatn og Austenå som begge ligger i Tovdalselva, ligger Austenå oppstrøms de få kraftverkene som ligger i nedbørsfeltet. Det har også et mindre lokal nedbørsfelt som reagerer raskere. Det er også noe høyere årsavrenning og årsnedbør som bidrar til høyere spesifikk middelflom.

Rygene total skiller seg ut ved at denne stasjonen har betydelig lavere spesifikk vannføring, dette er fordi det er mye regulering i dette feltet.

4.3 5-1000-års flom

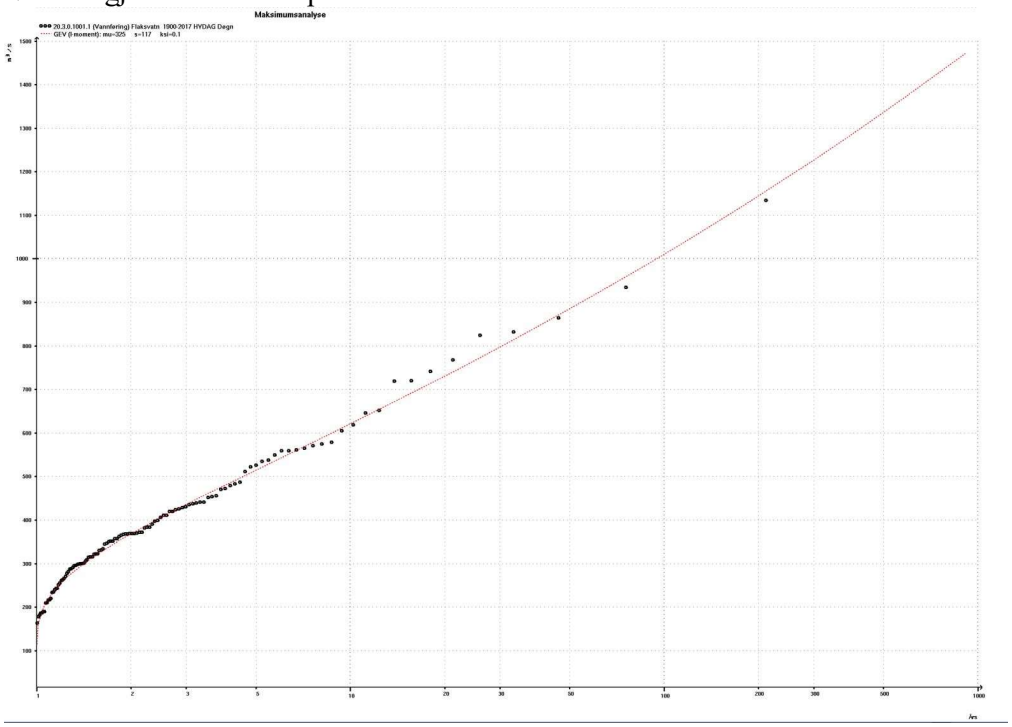
For å bestemme flommer med gjentaksintervall opptil 1000 år er det utført frekvensanalyser av både 20.3 Flaksvatn og stasjoner fra nærliggende områder. Resultatene er vurdert mot regionale flomfrekvenskurver.

Resultatene av frekvensanalysen for Flaksvatn er vist i figur 6. Det ble gjort analyser med flere forskjellige fordelingsfunksjoner. General Extreme Value (GEV) fordelingen synes å passe godt og er derfor valgt som representativ fordeling til de observerte flommene ved 20.3 Flaksvatn. Selv om det er lange og gode tidsserier er det likevel knyttet usikkerhet til frekvensanalysene.

Foreløpig undersøkelser antyder at vannstanden i Flaksvatn under flommen i 2017 er den høyeste siden målingene startet i 1900, men var sannsynligvis også høyere enn under 3 kjente flommer på 1800-tallet. Derfor er det sannsynligvis den høyeste vannstanden i Flaksvatnet tilbake til første halvdel av 1800-tallet.

Det er usikkerhet knyttet til slike gamle flomvannstander, blant annet fordi utløpsforholdene ved Flaksvatn kan vøre litt endret i løpet av så lang tid (endring pga vegetasjon, bruer etc.). Det virker derfor ikke urimelig at flommen i 2017 hadde et gjentaksintervall på omkring 200 år.

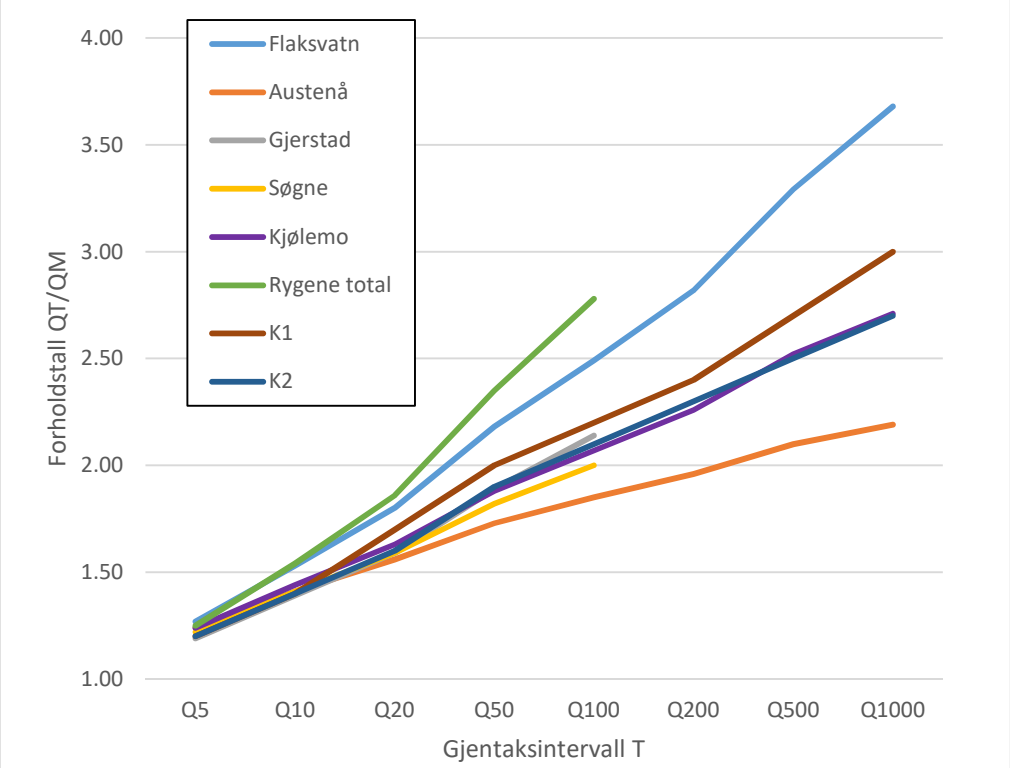
I tabell 8 og figur 7 er frekvensfaktorene for 20.3 Flaksvatn sammen med andre stasjoner i og nær Tovdalsvassdraget presentert. I tabell 9 er spesifikk flomvannføringer med tilhørende gjentaksintervall presentert.



Figur 6. Frekvensanalyse av 20.30 Flaksvatn (1900-2017) med fordelingsfunksjonen General Extreme Value (GEV). Observerte flommer er vist med svarte punkter.

Tabell 8. Flomfrekvensfaktorer for vannføringsstasjoner i og nær Tovdalsvassdraget.

Stasjons-navn	Antall år	Ford.f.	Q5/ QM	Q10/ QM	Q20/ QM	Q50/ QM	Q100/ QM	Q200/ QM	Q500/ QM	Q1000/ QM
20.3 Flaksvatn	118	GEV	1.27	1.53	1.80	2.18	2.49	2.82	3.29	3.68
20.2 Austenå	94	GEV	1.24	1.41	1.56	1.73	1.85	1.96	2.1	2.19
18.10 Gjerstad	37	GEV	1.19	1.39	1.59	1.89	2.14			
22.22 Søgne	44	GEV	1.22	1.41	1.59	1.82	2.00			
22.4 Kjølemo	122	GEV	1.24	1.44	1.63	1.88	2.07	2.26	2.52	2.71
19.127 Rygene total	41	GEV	1.25	1.54	1.86	2.35	2.78			
Regionale verdier		K1	1.20	1.40	1.70	2.00	2.20	2.40	2.70	3.0
Regionale verdier		K2	1.20	1.40	1.60	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70



Figur 7. Flomfrekvenskurver (døgnmiddel av årsflommer) for målestasjoner i og nær Tovdalsvassdraget.

Tabell 9. Spesifikk flomvannføringer (døgnmidler) for stasjoner i og nær Tovdalsvassdraget samt tilhørende areal.

Stasjons-navn	Areal [km²]	Ford.f	QM [l/sek km ²]	Q5 [l/sek km ²]	Q10 [l/sek km ²]	Q20 [l/sek km ²]	Q50 [l/sek km ²]	Q100 [l/sek km ²]	Q200 [l/sek km ²]	Q500 [l/sek km ²]	Q1000 [l/sek km ²]
20.3 Flaksvatn	1781	GEV	228	290	349	411	497	568	643	750	839
20.2 Austenå	277	GEV	274	340	387	428	475	508	538	576	601
18.10 Gjerstad	237	GEV	384	457	534	611	726	822			
22.22 Søgne	210	GEV	410	500	577	651	745	819			
22.4 Kjølemo	1757	GEV	261	323	375	425	490	540	589	657	706
19.127 Rygene total (tilsig)	3950	GEV	106	132	163	197	249	294			
Regionale verdier		K2	263	315	368	420	499	552	604	657	709

4.4 Kulminasjonsverdier

Flomverdiene som hittil er blitt omtalt har bare vært døgnmidler. Kulminasjonsvannføringen (momentanvannføringen) kan være mye større. I Tovdalsvassdraget ved målestasjon 20.3 Flaksvatn finnes det data med fin tidsoppløsning tilbake til 1980. De 8 største flommene i denne tidsperioden er presentert i tabell 10. Dette er år der høyeste døgnmiddelverdi og høyeste kulminasjonsverdi oppstår under samme hendelse. Det finnes år der høyeste registrerte døgnmiddelverdi ikke korresponderer med høyeste kulminasjonsverdi. Det er heller ikke registrert isoppstuving i de periodene dette er tilfellet. Dette kan derfor bety at det har vært en vårflom, med jevn høy vannføring uten noen spesiell «peak». Senere på høsten har det vært en hendelse med høy nedbørintensitet som hår fått en stor «peak», raskt opp og raskt ned. Volumet har derimot ikke vært høyt nok til å nå høyeste døgnmiddelverdi. Dette stemmer med det vi vet om avrenningsmønsteret til smelteflommer som vanligvis kommer om våren. De har lang varighet og stort volum. For høstflommer som er dominert av regn, er avrenningen til elva raskere og forløpet spissere.

Tabell 10. 8 største flommene registrert på stasjon 20.3 Flaksvatn i perioden 1980 til 2017.

År	**Dato**	**Døgnmiddel**	**Kulminasjon**	**Q_{mom}/Q_{mid}**
2017	02/10	1134	1195	1,05
1987	16/10	825	858	1,04
1992	03/12	720	743	1,03
2015	16/10	645	685	1,06
2001	10/10	605	624	1,03
2000	21/11	535	588	1,10
2008	17/01	522	549	1,05
1989	06/10	470	484	1,03
				Snitt 1,05

Tabell 10 viser at forholdstallet Q_{mom}/Q_{mid} ikke har endret seg selv om vannføringskurven har endret seg. Snittet er fortsatt 1.05. I rapporten fra 2004 ble det valgt å legge vekt på de observasjonene som hadde fin tidsoppløsning og vektlegge disse av de 10 største flommene. Det var da bare tre observasjoner som var lagt til grunn. Det ble også gjort målinger under flommen i oktober 2017. Forholdstallet mellom døgnmiddel registrert og kulminasjon under denne hendelsen er også 1.05 som vist i tabell 10 første rad.

Forholdstall kan også beregnes ved hjelp av empiriske ligninger basert på feltparametere. Følgende formel er brukt for 20.3 Flaksvatn (NVE, 2000):

Vårflom: $$\frac{Q_{mom}}{Q_{mid}} = 1.72 - 0.17 * \log A - 0.125 * A_{SE}^{0.5}$$

Høstflom: $$\frac{Q_{mom}}{Q_{mid}} = 2.29 - 0.29 * \log A - 0.270 * A_{SE}^{0.5}$$

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

For Tovdalsvassdraget blir forholdstallet for vårflommer 1.07 og for høstflommer 1.14. Selv om vannføringskurven er endret er ikke forholdet mellom døgnmiddel og kulminasjon endret. Forholdstallet fortsatt beregnet til å være 1.05 basert på de 8 største flommene i vassdraget. Tallet 1.05 harmonerer også bedre enn formlene for vår og høst flom, ved sammenligning av observert kulminasjonsverdi under flommen i oktober 2017. Kulminasjonsverdier for to punkter i Tovdalsvassdraget med forholdstall 1.05 er presentert i tabell 11. Tilsiget fra lokalfeltet mellom Flaksvatnet og utløpet av Topdalselva i fjorden er arealskalert ved bruk av døgnmiddelverdier fra 22.22 Søgne som representativ avrenning.

Tabell 11. Kulminasjonsvannføringer i Tovdalselva med forholdstall 1.05.

	Areal [km^2]	QM [m^3/sek]	Q5 [m^3/sek]	Q10 [m^3/sek]	Q20 [m^3/sek]	Q50 [m^3/sek]	Q100 [m^3/sek]	Q200 [m^3/sek]	Q500 [m^3/sek]	Q1000 [m^3/sek]
20.3 Flaksvatn	1781	426	541	652	768	930	1061	1202	1403	1568
Utløpet av Topdalselva i fjorden	1867	463	587	704	827	997	1135	1280	1487	1656

4.5 Samtidighetsproblematikk i flom

Det er sett nærmere på om det er flom i hovedvassdraget hvor Flaksvann ligger samtidig som det er flom i sidevassdraget hvor Berse liger. Spesielt er det sett på om flommen vil være på topp samtidig i både hovedvassdraget og sidevassdraget. Dette er ikke drøftet ferdig slik at samtidighetsproblematikk bør undersøkes nærmere i forbindelse med flomsonekartlegging.

Flomproblematikken i Flaksvatnet er avhengig av vannføringen i tilløpselvene, og vannstanden i Berse, som utgjør en del av lokaltilsiget. Det er observert i flomhendelser at når kulvertene ved Rv 41 går fulle renner vann fra Berse til Flaksvatn. Under flommen 2017 var det observert at det rant vann fra Flaksvatn til Berse. Ved samtidighetsanalyser kan man anta at 19.107 Lilleelv (Arendalsvassdraget) eller 22.22 Søgne kan være representative stasjoner. 19.107 Lilleelva har et areal på 39 km^2. 22.22 Søgne er også et relativt mindre felt enn 20.3 Flaksvatn på 204 km^2. De tre største flommene i 19.107 Lillelv og 22.22 Søgne er gitt i tabell 12 sammen med samme hendelse i Flaksvatn.

Tabell 12. 3 største flommene i spesifikk avrenning på 19.107 Lilleelv og tilhørende flomhendelser for 22.22 Søgne og 20.3 Flaksvatn.

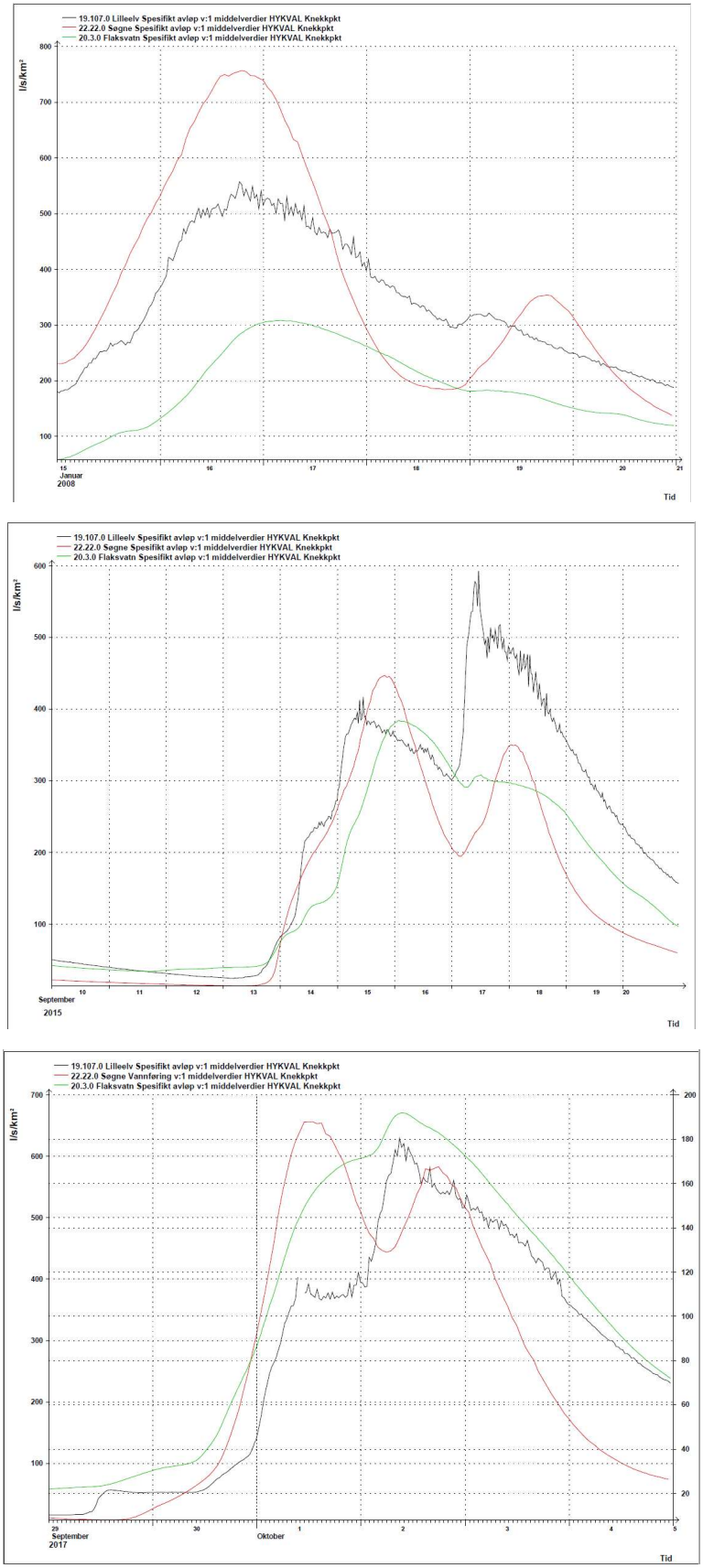
Sted	Hendelse	l/sek km^2
19.107 Lilleelv	02.10.2017	635
22.22 Søgne	01.10.2017	921
20.3 Flaksvatn	02.10.2017	671
19.107 Lilleelv	17.09.2015	598
22.22 Søgne	15.09.2015	446
20.3 Flaksvatn	16.09.2015	385
19.107 Lilleelv	16.01.2008	564
22.22 Søgne	16.01.2008	755
20.3 Flaksvatn	17.01.2008	308

Arealskalinger av spesifikke vannføringene fra tabell 12 til avrenning i Berse (~14km^2) er presentert i tabell 13.

Tabell 13. 3 største flommene på stasjonen 19.107 Lilleelv og 22.22 Søgne arealskalert til nedbørsfeltet til Berse.

Hendelse	Arealskalert med 19.107 Lilleelv [m^3/sek]	Arealskalert med 22.22 Søgne [m^3/sek]
2017	9	13
2015	8	6
2008	8	11

Når det gjelder samtidighet i flom mellom Berse kontra hovedvassdraget (Flaksvatn), ser en at om en bruker data fra små «nærliggende» felt, at vannføringen noen ganger er på topp omtrent til samme tid både for Flaksvatn, Søgne og Lilleelv (figur 8). Selv om det i 2015 ble registrert maks-verdier i tre ulike døgn, så ser en at både i 2008 og 2017 kulminerte vannføringen omtrent til samme tid i både feltet til Flaksvatn og Lilleelv, i 2008 falt det og ganske godt sammen med kulminasjon for stasjonen Søgne. Grunnen til at Søgne avviker noe i kulminasjon i fig. 8 kan være stor andel sjø i feltet. Spesifikk vannføring (flomtopp) er i gjennomsnitt 40 % større for Lilleelv og Søgne enn for Flaksvatn. Dette kan indikere at spesifikt tilsig fra Berse til Flaksvatn i en flomsituasjon er omkring 40 % høyere enn spesifikt tilsig for hele Flaksvatns nedbørfelt.



Figur 8. Spesifikt avløp for 19.107 Lilleelv (svart), 22.22 Søgne(rød) og 20.3 Flaksvatn (grønn) under tre forskjellige flommer i januar 2008, september 2015 og september/oktober 2017

I tillegg viser beregninger med PQRUT at feltet fra Berse ved utløp i Flaksvann har en kulminasjonsverdi på 12 m^3/sek under flomhendelsen i 2017. Det er her valgt nedbørstasjonen 38140 Landvik som har timesverdier. Nedbørsforløpet starter den 29.09.2018 kl 02:00. Initialvannføringen var satt til 0.4m^3/sek. Konsentrasjonstiden var satt til 2 timer.

NIFS formelverk gir følgende verdier for gjentaksintervall fra 5-200 år (tabell 14).

Tabell 14. Gjentaksintervall for Berses utløp i Flaksvann fra middelflom til 200 år, kulminasjonsvannføring.

QM [m^3/sek]	Q5 [m^3/sek]	Q10 [m^3/sek]	Q20 [m^3/sek]	Q50 [m^3/sek]	Q100 [m^3/sek]	Q200 [m^3/sek]
5	7	8	9	11	13	15

Basert på målestasjonene ser vi at flomhendelsen i 2017 varierer fra 9 -13 m^3/sek ved arealskalering. PQRUT gir en verdi på 12 m^3/sek, noe som indikerer at hendelsen i 2017 var mindre enn en 200-års flom.

4.6 Klimaendringer

I henhold til NVEs klimastrategi (NVE rapport 15/2010) skal det tas hensyn til et endret klima ved tiltak eller beslutninger som har lang levetid. Spesielt kan dette være arealplanlegging eller bygging av viktig infrastruktur. Dette er også gitt av Byggteknisk forskrift (TEK-17) §7-2 sikkerhet mot flom og stormflo.

NVE anbefaler i rapport(81/2016) 20% klimapåslag for Agder. Dette gjelder alle større nedbørsfelt og vil i praksis si å øke dimensjonerende flomstørrelse med 20%. Dette er utført og gjengitt i tabell 15 for kulminasjonsverdier.

Tabell 15. Kulminasjonsvannføringer med 20% klimapåslag i Tovdalselva.

	Areal [km^2]	QM [m^3/sek]	Q5 [m^3/sek]	Q10 [m^3/sek]	Q20 [m^3/sek]	Q50 [m^3/sek]	Q100 [m^3/sek]	Q200 [m^3/sek]	Q500 [m^3/sek]	Q1000 [m^3/sek]
20.3 Flaksvatn	1781	512	650	783	921	1116	1274	1443	1684	1882
Utløpet av Topdalselva i fjorden	1867	556	704	845	992	1196	1363	1536	1785	1988

Flommen i 2017 ble målt til 1195 m^3/sek ved kulminasjon. Hvis en tar hensyn til klimaendringer i flomvannføringen vil flommen i 2017 karakteriseres som litt under en 100-års flom.

4.7 Flommen i Tovdalsvassdraget 2017

Flommen i oktober 2017 startet med nedbør i Rogaland og Vest-Agder i det første døgnet før det traff Aust-Agder. Nedbøren som falt fra lørdag til søndag hadde rekord i Senumstad i Birkeland, Aust-Agder med 173 mm nedbør (NVE rapport 80/2017). Dette førte til flom i mange av vassdragene, deriblant Tovdalsvassdraget.

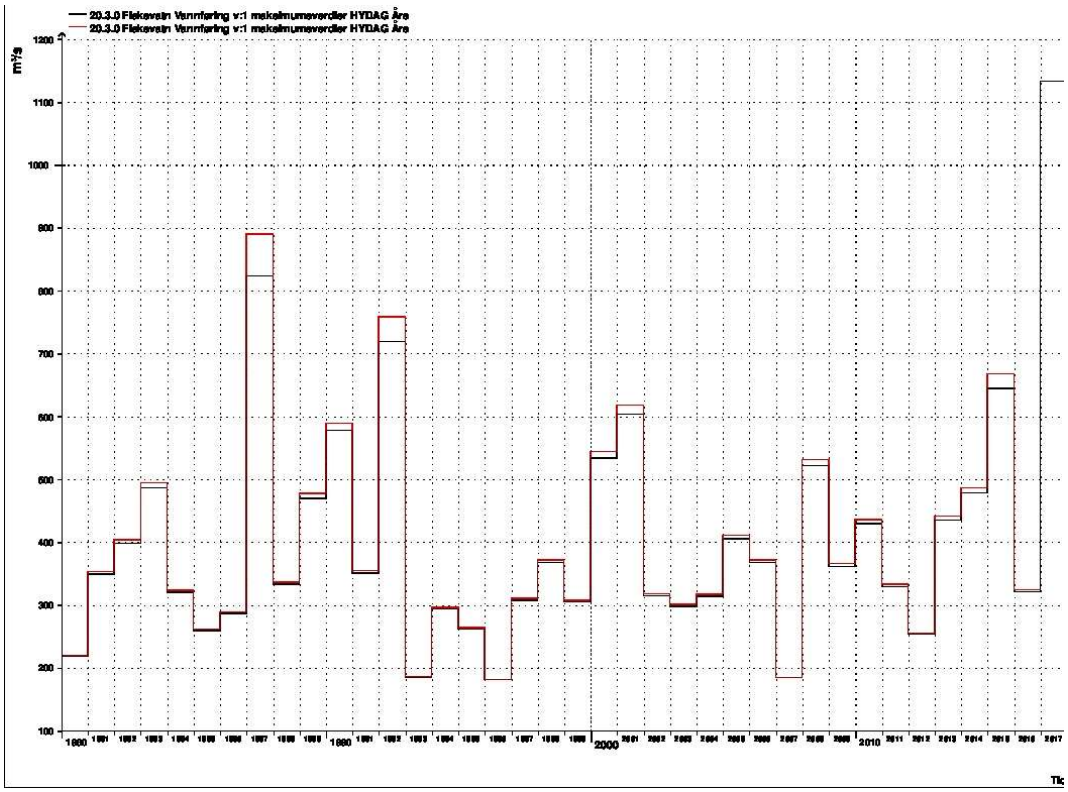
Agder Energi rapporterte om overløp ved de få magasinene som finnes i Tovdalsvassdraget. Dermed stemmer antakelsen om at Flaksvatn ikke har noen flomdempende effekt. Den maksimale vannstanden i Flaksvatnet har aldri vært observert høyere, og var 1 meter høyere enn forrige høyderekord (flommen i november 1959). Den forrige vannføringskurven antydet en vannføring på 1400 m^3/sek som ville tilsvart en 500-års flom. Det ble foretatt målinger under flommen der det ble målt tilnærmet 1200 m^3/sek, som indikerte at vannføringskurven ikke var korrekt og at gjentaksintervallet mest sannsynlig vil bli noe mindre. Ved stasjonen 20.2 Austenå var flommen registrert til å være 50-100 år (NVE rapport 80/2017).

Under flommen i 2017 ble det også målt opp flere punkter der vannføringen kulminerte langs vassdraget. Disse ble lagt inn i HEC-modellen fra flomsonekart –Flaksvatn (NVE rapport 9/2005). En vannføring på 1200 m^3/sek ble lagt inn og ved kjøring av modellen ser man at vannlinja treffer oppmålt kulminasjonspunkt ved tverrprofil (nr. 17) ved utløpet av Flaksvatn.

Forholdstallet mellom observert døgnmiddel og kulminasjonsverdi på 1.05 er det samme som i rapporten fra 2004. Dette gjør at beregnet kulminasjonsvannføring ved en 200-års flom blir 1185 m^3/sek. Observert kulminasjon på målestasjonen (ved en endret vannføringskurve) var 1195 m^3/sek. Dette er i praksis samme verdi (disse verdiene ligger innenfor usikkerheten i beregningen).

5 Tidligere flomberegninger

I 2004 ble det utført flomberegninger for Tovdalsvassdraget i forbindelse med flomsonekartlegging av Flaksvatn og nedstrøms vannet. Alle flomvannføringene i perioden 1980 – 2016 er litt redusert som følge av kurverevisjonen. Men flommen i 2017 er større enn noen av de øvrige flommene, men den ville hatt enda flere m^3/s om ikke kurven hadde blitt revidert. I forhold til de forrige beregningene har middelflom ikke endret seg stort, bare 3 m^3/sek som i praksis er den samme verdien. Dette gjelder også flommer med relativt korte gjentaksintervall. Men frekvenskurven har blitt brattere pga 2017 flommen. Nå er forholdstallet Q500/QM beregnet til 3,29, og i NVE-rapport 14-2003 ble det beregnet til ca 3,0. Endringen i vannføringen presenteres i figur 9. Kulminasjonsvannføringen har endret seg fra 2 % reduksjon til 9% økning for gjentaksintervall fra middelflom til 500-års flom.



Figur 9. Vannføringen i 20.3 Flaksvatn i perioden 1980-2017. Vannføringskurven er endret. Rød graf er kulminasjonsvannføring med gammel vannføringskurve. Svart graf er kulminasjonsvannføringen med ny vannføringskurve.

6 Usikkerhet

Usikkerheter i flomberegningene kan skyldes flere ting. Det er vannstander som målt ute i elva, og disse blir deretter omregnet via en vannføringskurve til en vannføring. Vannføringskurven er basert på en samlingen av samtidighetsmålinger mellom vannstand og vannføring ute i elva i et gitt profil i elva.

En annen faktor som bidrar til usikkerhet i data er at data eldre enn 1980 er basert på en måling av vannstand i døgnet. Disse målingene blir betraktet som et gjennomsnitt for døgnet, men det kan i realiteten være avvik fra det reelle døgnmidlet.

Det er usikkerhet knyttet til forholdstall. Observerte forholdstall fra 8 største flommer gir 1.05. Dette er flommer fra år der høyeste døgnmiddel opptrer under samme hendelse som høyeste kulminasjon. Andre type flommer som har høyere kulminasjon er ikke representert. Regional flomfrekvens analyse med vår og høst-formel gir henholdsvis forholdstall 1.07 og 1.14. Valg av forholdstall er dermed en utfordring.

Valg av fordelingsfunksjon fører med seg usikkerheter, selv om Tovdalsvassdraget har mer enn 100 år med data.

Det er utfordrende å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data. Flere faktorer har betydning for data i tidsserien. I følge NVE rapport 04/2011 vil dette datagrunnlaget klassifiseres på en skala fra 1 til 3, der 1 er beste klasse, være klasse 1. Endringene i vannføringskurven altså endrer ikke på klassen, slik at forblir i klasse 1.

7 Referanser

Astrup, M 2000: Homogenitetstest av hydrologiske data. Rapport nr 7-2000, NVE.

NVE Retningslinjer 04-2011: Retningslinjer for flomberegninger til § 5-7 i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg.

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

Lawrence; Deborah 2016. Klimaendringer og fremtidige flommer i Norge. NVE-rapport 81/2016.

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

Pedersen, Turid Bakken; Øydvin, Eli K.; Svegården, Jostein 2005. Flomsonekart. Delprosjekt Flakksvann. NVE-rapport 09/2005.

NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

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

www.nve.no