



Flomberegning for Horndøla

Hornindal kommune, Sogn og Fjordane (89.C20).

Ann-Live Øye Leine

7
2016



R
A
P
P
O
R
T

Rapport nr 7-2016

Flomberegning for Horndøla

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Ann-Live Øye Leine

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag:

Forsidefoto: Padlefere i Horndøla. Foto:Tore Meirik, Fri Flyt

ISBN 978-82-410-1197-9

ISSN 1501-2832

Sammendrag: På oppdrag for Region Vest i NVE har Hydrologisk avdeling ved NVE, utført flomberegninger for Horndøla i Hornindal kommune i Sogn og Fjordane.

Middelflom og flommer med gjentaksintervall 50, 100 og 200 år er beregnet. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til forventede klimaendringer.

Emneord: Flomberegning, Horndøla, Sogn og Fjordane

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

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

Innhold

Forord	2
Sammendrag	3
1 Beskrivelse av nedbørfeltet	4
2 Målestasjoner	5
3 Flomberegning, metode	8
3.1 Døgnmiddelvanntføringer	8
3.2 Kulminasjonsvanntføringer	11
3.2.1 Kulminasjonsvanntføring, tradisjonell metode med utgangspunkt i døgnverdier	11
3.2.2 Kulminasjonsvanntføring, formelverk for små felt	12
3.2.3 Endelig valg av kulminasjonsvanntføring	13
3.3 Justering av flomverdier i forhold til forventete klimaendringer	13
4 Usikkerhet	14
5 Referanser	15
Vedlegg 1	16

Forord

På oppdrag for Region vest har NVE, Hydrologisk avdeling, utført flomberegninger for Horndøla i Hornindal kommune i Sogn og Fjordane.

Middelflom og flommer med gjentaksintervall 50, 100 og 200 år er beregnet. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til forventede klimaendringer.

Arbeidet er blitt utført i perioden januar 2016.

Ann-Live Øye Leine har utført flomberegningen, i tillegg har Seija Stenius kvalitetskontrollert arbeidet.

Rapporten er ikke en del av NVE sin forvaltningsmessige behandling av saken.

Oslo, januar 2016



Sverre Husebye
seksjonssjef



Ann-Live Øye Leine
overingeniør

Sammendrag

Det ble i 2001 gjort flomberegninger for Horndøla (Holmqvist, 2001) i forbindelse med konstruksjon av flomsonekart ved Grodås. I lys av tilgang på lengre dataserier, endring i verdier for årlig avrenning og anbefalinger om klimapåslag er det gjort nye beregninger for Horndøla i Hornindal kommune i Sogn og Fjordane.

Det er utført flomberegning for to punkter i Horndøla. Det ene punktet er der hvor Horndøla renner inn i Hornindalsvatnet (Pkt.1), og det andre ligger ca. 4 km lenger oppstrøms ved et industriområde nær Sagøyna (Pkt.2).

Reguleringene i vassdraget har begrenset virkning på flomforholdene.

Middelflom og flommer med gjentaksintervall 50, 100 og 200 år er beregnet. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til forventede klimaendringer.

Flomberegningen er kontrollert av Seija Stenius NVE.

Det foreligger ikke vannføringsdata i det aktuelle vassdraget. Flomberegningene er derfor basert på regionale flomformler og flomfrekvenskurver, og frekvensanalyser av observerte flommer fra nærliggende målestasjoner, samt formelverk for små nedbørfelt (Glad mfl., 2015).

Resultatet ble (kulminasjonsverdier):

Sted	Areal km ²	Q _M		Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Horndøla v/ pkt. 1	137	935	128,3	240	263	291
Horndøla v/ pkt. 2	114	986	112,4	210	231	255

Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100) er som følger:

Sted	Areal km ²	Q _M		Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Horndøla v/ pkt. 1	137,2	1122	153,9	287	316	349
Horndøla v/ pkt. 2	114,0	1183	134,9	252	277	306

Med bakgrunn i det tilgjengelige datagrunnlaget for denne beregningen kan usikkerheten i resultatene regnes som svært stor « Begrenset hydrologisk datagrunnlag og store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området».

1 Beskrivelse av nedbørfeltet

Horndøla har et nedbørfelt på 137 km² med utløp i Hornindalsvatnet ved tettstedet Grodås.

Feltkarakteristikker for nedbørfeltene til beregningspunktene er vist i tabell 1 og feltgrensene er vist i figur 1. Mer detaljert informasjon om nedbørfeltene finnes i Vedlegg 1.

Normal årsnedbør i Hornindalsvassdraget varierer fra omkring 1500 mm i de lavereliggende delene av nedbørfeltet til 2500 mm i fjellområdene i nord. Både i området rundt Ålfotbreen i sør og i fjellområdene nord for Hornindalsvassdraget er årsnedbøren betydelig større (Holmqvist, 2001).

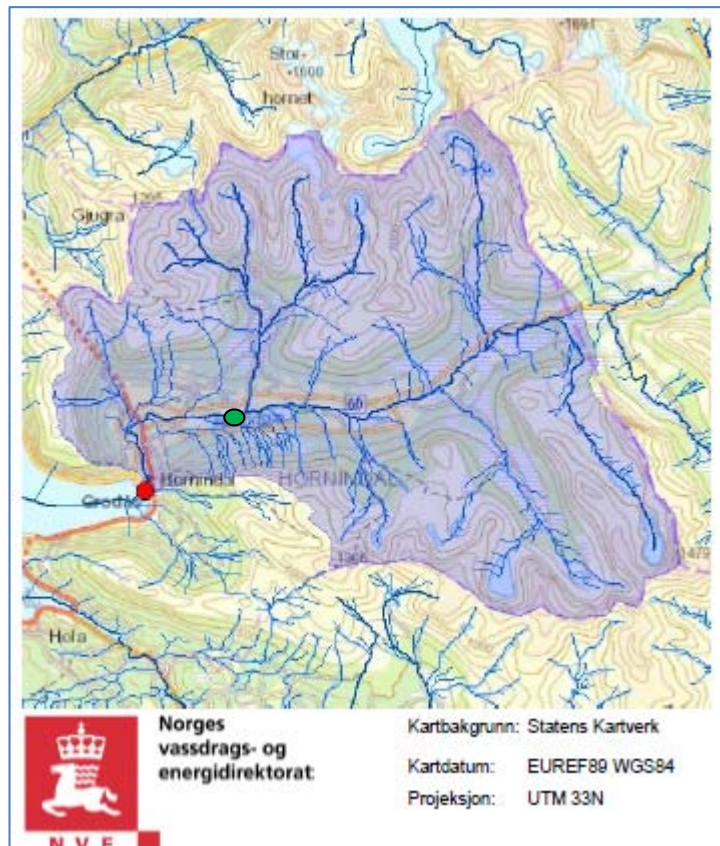
Flommer kan forekomme hele året, men oftest på høsten og vinteren.

Det er ikke kommet til nye reguleringer etter 2001. Informasjon om reguleringene er derfor hentet fra flomberegningen i 2001: På 1960-tallet ble ca. 16 km² av nedbørfeltet til Hornindalsvatn overført til Tussevatnet. Dette er magasin for Tussa kraftverk som ligger innerst i Hjørundfjorden. Det er de øvre delene av nedbørfeltet til Horndøla som er overført. Overføringen tilsvarer omkring 12 % av Horndølas nedbørfelt. Tussevatn manøvreres normalt slik at minimum nås i mai. På høsten fylles magasinet i løpet av oktober/ november. Ved flom i Tussevatn, vil bekkeinntakene som overfører vann fra Hornindal vanligvis bli stengt (pers.med. Kåre Otterdal, Tussa Energi AS). Det betyr at reguleringen har ført til noe reduksjon av flommene i Hornindals-vassdraget på våren og sommeren, mens virkningen på høst- og vinterflommer sannsynligvis er liten. I flomanalysene er det derfor sett bort fra eventuelle virkninger av reguleringen.

Tabell 1. Feltkarakteristika for nedbørfeltene.

Sted	Felt-areal, A, km ²	Q _N (61-90)* l/s·km ²	Eff. sjø, A _{SE}	H ₅₀ moh.	Bre-andel %
Horndøla v/ pkt. 1 (utl.)	137	76	0,01	699	0,5
Horndøla v/ pkt. 2	114	80	0,10	746	0,6

* Avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for normalperioden 1961-1990.



Figur 1. Nedbørfelt til Horndøla ved utløp i Hornindalsvatnet, beregningspunkt ved Sagøyna er vist med grønn prikk, utløpet ved Hornindalsvatn med rødt prikk.

2 Målestasjoner

Målestasjon 84.11 Hovefoss ligger ca. 60 km sørvest for Horndøla. Hovefoss har større feltareal, noe høyere observert middelavrenning og litt høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med Horndøla. Målestasjonen har vært i kontinuerlig drift siden 1963. Vannføringskurven ble sist revidert 20.03.2001. Vannføringskurven på flom er ikke vurdert.

Målestasjon 86.10 Åvatn ligger ca. 50 km sørvest for Horndøla. Åvatn har litt større feltareal, og høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med Horndøla. Målestasjonen har vært i kontinuerlig drift siden 1974. Vannføringskurven ble sist revidert 29.10.2007. Vannføringskurven på flom¹ er vurdert som bra.

Målestasjon 89.1 Hornindalsvatnet ligger nær utløpet av Hornindalsvatnet. Effektiv sjøprosent på 13,4%. Stasjonen har vært i kontinuerlig drift siden 1919. Det ligger ei bru i utløpet av vannet, under rehabilitering av brua i 1962-63, ble betongblokker liggende i utløpet av vatnet. Under flom har dette ført til en oppstuvning av Hornindalsvatn. Blokkene ble fjernet i 1983. Data fra 1962 til 1983 inngår derfor ikke i datagrunnlaget for

¹ Flom i denne sammenhengen er definert som ca. en middelflomverdi. Kurveusikkerheten på høyere flomvannføringer er ikke vurdert.

videre beregninger. Vannføringskurven ble sist revidert 24.09.2015. Vannføringskurven på flom¹ er vurdert som god.

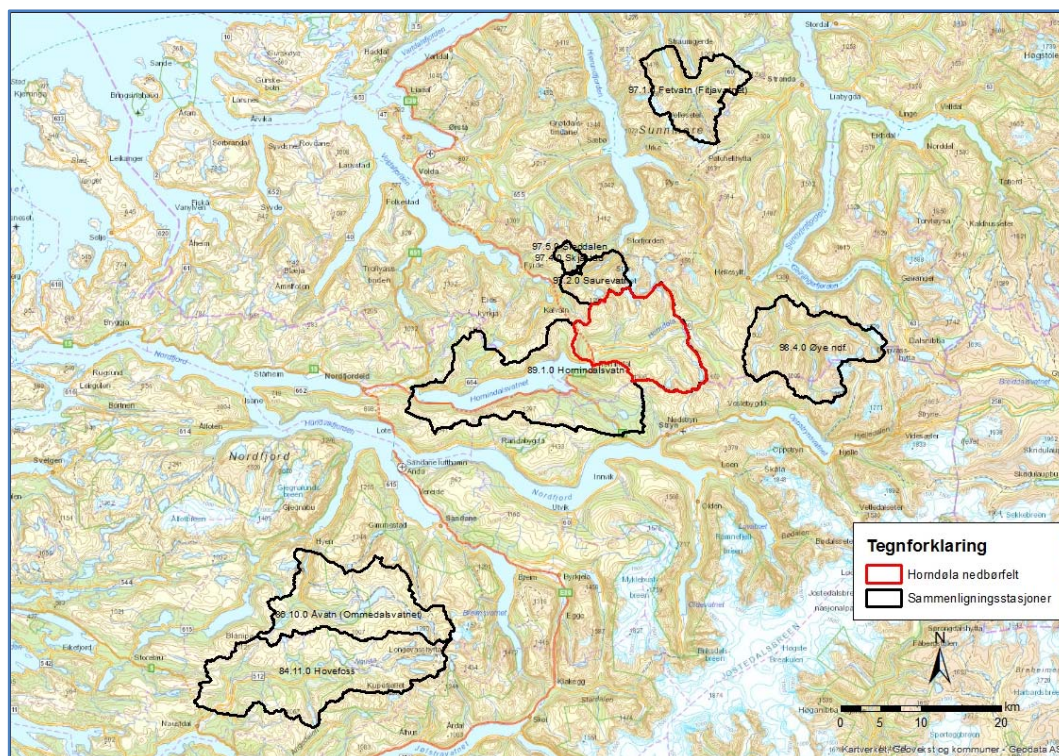
Målestasjon 97.1 Fetvatn ligger ca. 35 km nord for Horndøla. Fetvatn har litt mindre feltareal, noe høyere spesifikk avrenning og høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med Horndøla. Målestasjonen har 5 % bre, og er dermed den av sammenligningsstasjonene med størst breandel. Målestasjonen har vært i kontinuerlig drift siden 1945. Vannføringskurven ble sist revidert 02.02.2006. Vannføringskurven på flom¹ er vurdert som bra.

Målestasjon 97.2 Saurevatn (overf.ut) lå i nabovassdraget rett nord for Horndøla. Saurvatn har mindre feltareal, men høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med Horndøla. Målestasjonen var i drift fra 1966-2004. Grunnen til nedleggelse er ikke kjent. 8,7 km² av feltet er overført ut, og ved flom kan det være overløp. Vannføringskurven på flom¹ er vurdert som meget dårlig.

Målestasjon 97.4 Skjåstad lå også i nabovassdraget rett nord for Horndøla. Skjåstad har et mye mindre feltareal sammenlignet med Horndøla. Målestasjonen var i drift fra 1967-1997. Profilendringer i 1995. Problemer med lekkasjer i profilet gav sannsynligvis for lav vannstand/vannføring. Vannføringskurven på flom¹ er vurdert som meget dårlig.

Målestasjon 97.5 Sleddalen ligger i nabovassdraget rett nord for Horndøla. Sleddalen er ment å erstatte 97.4 Skjåstad og ligger like oppstrøms denne. Skjåstad har et mye mindre feltareal og observerte data kan tyde på høyere avrenning sammenlignet med Horndøla. Målestasjonen har vært i kontinuerlig drift siden 1998. Felthydrolog tror vannføringskurven overestimerer vannføringen. Vannføringskurven bør anses som midlertidig, og kurveusikkerheten er ikke vurdert.

Målestasjon 98.4 Øye ndf. ligger ca. 20 km øst for Horndøla. Øye har noe lavere årsavrenning og ligger noe høyere sammenlignet med Horndøla. Målestasjonen har 4 % bre. Målestasjonen har vært i drift siden 1916. Avlesningene fra 1916 til 01.08.1982 ble gjort av lokale observatører, og under flom som regel kulminasjonsvannføringen avlest. Data fra perioden 1967- 1978 anses dessuten som svært usikre da observatør flere ganger «diktet» opp vst., og ved flere tilfeller der den faktisk vannstanden ble avlest er den endret i ettertid. Stasjonen ble flyttet i 1991. Vannføringskurven på flom¹ er vurdert som bra etter 02.10.1990. Vannføringskurven ble sist revidert 11.11.2015. Felthydrolog kommer til å se på om det bør lages en egen kurve for perioden før 1990.



Figur 2. Nedbørfelt til sammenligningsstasjoner i området (sort) og nedbørfeltet til Hornindøla ved utløp i Hornindalsvatnet (rødt).

Tabell 2. Feltkarakteristika for aktuelle sammenligningsstasjoner.

Stasjon	Måle- periode	Felt- areal (km ²)	Q_N^1 (61-90) (l/s·km ²)	Q_{obs}^2 (l/s·km ²)	Eff. sjø (%)	H ₅₀ moh.	Bre- andel (%)
84.11 Hovefoss	1963 - d.d	234	80	91	0,45	627	0
86.10 Åvatn	1974 - d.d	162	80	81	1,5	696	1
89.1 Hornindalsvatn	1901 - d.d	382	61	58	13,4	480	0
97.1 Fetvatn	1945 - d.d	89	89	86	1,5	591	5
97.2 Saurevatn	1966-2004	46 ³	73	62	1,6	708	1
97.4 Skjåastad	1966-1997	10	73	67	0	710	3
97.5 Sleddalen	1997- d.d	9	74	95	0	740	3
98.4 Øye	1916 - d.d	139	31	67 ⁴	0,3	982	4

¹ Q_N årsmiddelavrenningen i perioden 1961-90 beregnet fra NVEs avrenningskart.

² Q_{obs} årsmiddelavrenningen beregnet for periode med tilgjengelige observasjoner.

³ Naturlig areal, 8,7 km² er overført ut.

⁴ Q_{obs} er basert på data fra 1983 – 2015, data før denne tidsperioden er en blanding av kulminasjonsdata og døgnmiddeldata. Det antas at avrenningskartet underestimerer den årlige avrenningen, og observerte verdier er derfor brukt for videre beregninger.

3 Flomberegning, metode

For beregning av flomvannføringer i de to punktene er det gjort to ulike analyser. Den første metoden baserer seg på observasjoner fra sammenligningsstasjoner og regionalt formelverk (Sælthun mfl., 1997), som gir en døgnmiddelflom for ulike gjentakintervall. De regionale flomformlene (Sælthun mfl., 1997) gjelder for felt $>20 \text{ km}^2$, og bør brukes med forsiktighet for felt $< 100 \text{ km}^2$ (NVE, 2011). Via en kulminasjonsfaktor ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$) regnes døgnverdiene om til kulminasjonsverdier.

Disse kulminasjonsverdiene kan sammenlignes med et nylig utviklet formelverk for flomberegninger i små felt ($<50 \text{ km}^2$) som estimerer middelflom og flommer med ulike gjentakintervall direkte som kulminasjonsverdier for nedbørfelt under ca. 50 km^2 (Glad mfl., 2015).

Formelverket er basert på ett sett med ligninger for hele Norge. En ligning for estimering av middelflommen, Q_M , og en ligning for å beskrive vekstkurven, Q_T/Q_M , (forholdet mellom middelflom og en flom med et vilkårlig gjentakintervall).

De to beregningspunktene i Horndøla har større feltareal enn hva det nye formelverket er utarbeidet for. Noen tester antyder at formelverket muligens også vil være gyldig for større felt, og det vil i løpet av de neste årene bli vurdert om lignende metode kan brukes for større felt. Siden Horndøla er et forholdsvis raskt og lite felt, og det er mangel på representative målestasjoner med gode data, anses det som fornuftig å vurdere resultatene fra det nye formelverket opp mot resultater fra flomfrekvensanalysene.

3.1 Døgnmiddelvannføringer

For beregning av middelflom er det gjort en vurdering av middelflom for målestasjonene i tabell 3 og beregning av middelflom fra formelverk i definerte hydrologiske regioner (Sælthun mfl., 1997) i tabell 4.

I tabell 3 vises resultatene for flomfrekvensanalysene på døgnmiddelverdier.

Tabell 3. Flomfrekvensanalyse på årsflommer, døgnmiddelverdier.

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km ²	Q _M		Q ₅₀ / Q _M	Q ₁₀₀ / Q _M	Q ₂₀₀ / Q _M	Fordelings- funksjon
				l/s/km ²	m ³ /s				
84.11 Hovefoss	1963-2014	51	238	851	202,6	1,98	2,18	2,39	Gumbel (bayes)
86.10 Åvatn	1974-2015	42	162	615	99,6	1,75	1,91	2,06	GEV (l-mom)
89.1 Hornindalsvatn	1901-2015	92	382	168	64,3	1,52	1,59	1,66	GEV (l-mom)
97.1 Fetvatn	1945-2015	70	89	834	74,2	2,27	2,53	2,80	Gumbel (l-mom)
97.2 Saurevatn	1966-2004	36	46	537	24,8	2,00	2,21	2,43	Gumbel (bayes)
97.4 Skjåastad	1966-1999	30	10	315	3,2	-	-	-	Gumbel (bayes)
97.5 Sleddalen	1998-2015	18	9	820	7,4	-	-	-	GEV (l-mom)
98.4 Øye ndf.	1916-2015	99	138	431	59,5	2,00	2,26	2,55	GEV (l-mom)
98.4 Øye ndf.	1916-2015	87	138	438	60,5	2,02	2,31	2,63	GEV (l-mom)
98.4 Øye ndf.	1983-2015	33	138	451	62,2	1,78	2,01	2,26	GEV (l-mom)
98.4 Øye ndf.*	1983-2015	33	138,0	605	83,5	1,96	2,17	2,38	Gumbel (bayes)
Region K2						1,9	2,1	2,3	
K2, Horndøla v/ pkt.1				702					
K2, Horndøla v/ pkt.2				750					
Formelverk, små felt (Kulm.)									
Horndøla v/ pkt. 1 (utl.)				1018	139,6	1,93	2,20	2,51	
Horndøla v/ pkt. 2				1041	118,7	1,92	2,20	2,50	

*Analyse gjort på FINDATA, kulminasjonsvannføringer.

Spesifikk middelflom (Q_M), døgnmiddelvannføring.

Ingen av målestasjonene anses å være representative for fastsetting av middelflom. Enten ligger sammenligningsstasjonene i områder som er mer eksponert for vestaværet (84.11 Hovefoss, 86.10 Åvatn og 97.1 Fetvatn), eller så er nedbørfeltene for små (97.2 Saurevatn, 97.4 Skjåastad, 97.5 Sleddalen) og har en for høy effektiv sjøprosent (97.2 Saurevatn og 97.1 Fetvatn).

Datakvalitet gjør det dessuten vanskelig å stole på spesifikk middelflom for de stasjonene som ligger i nabovassdraget nord for Horndøla. Spesifikk middelflom ved Saurevatn vil muligens ligge opp mot 650 l/s/km² hvis man trekker ifra det overførte arealet på 8,7 km². Spesifikk middelflom for 97.4 Skjåastad og 94.5 Sleddalen, som ligger i samme vassdrag, burde være forholdsvis like. Forskjellen (500 l/s/km²) viser at datagrunnalget ikke er til å stole på. Ref. kommentar fra felthydrolog så er 97.4 Skjåastad underestimert, mens spesifikk middelflom ved 97.5 Sleddalen er overestimert.

Målestasjonen 98.4 Øye.ndf ligger forholdsvis nær Horndøla, og er den som er mest representativ for å sammenligne spesifikk middelflom, men man bør forvente høyere

spesifikk middelflom i Horndøla pga. mindre effektiv sjøprosent og en noe høyere avrenning.

I 2001 ble det laget en tilsigsserie for Horndøla basert på 89.1 Hornindalsvatnet². Denne ga en spesifikk middelflom ved utløpet i Horndøla på 340 l/s/km². Denne verdien ble vurdert som for lav for Horndøla i 2001 (Holmqvist, 2001). Nye analyser av 89.1 Hornindalsvatn viser en liten reduksjon i spesifikk middelflom. Det er derfor antatt at det ikke er behov for å oppdatere tilsigsserien for Horndøla.

Horndøla tilhører kystregionen K2 som preges av årsflommer (Sælthun mfl., 1997). Den regionale flomformlen for K2 er:

$$\ln q_M = 1,1524 \cdot \ln q_N - 0,0463 \cdot A_{SE} + 1,57$$

q_M middelflom [l/s · km²]

A_{SE} effektiv sjøprosent [%]

q_N midlere spesifikt årsavløp [l/s · km²]

For Horndøla ved utløpet til Hornindalsvatnet gir dette en verdi på ca. 700 l/s/km², og 750 l/s/km² ved beregningspunktet litt lenger oppstrøms. For de fleste sammenligningsstasjonene gir formelverket en spesifikk middelflom på 600 – 700 l/s/km². For 98.4 Øye overestimerer formelverket (Ca. 540 l/s/km²) den observerte spesifikke middelflommen med ca. 20 %. Det er dermed grunn til å tro at formelverket også kan overestimere for Horndøla.

På bakgrunn av vurderingene over settes spesifikk middelflom for Horndøla ved utløpet til 550 l/s/km² og 580 l/s/km² for beregningspunktet lenger opp.

Vekstkurver, (Q_T/Q_M)

Det er en stor variasjon i vekstkurvene for de ulike målestasjonene, og for flere av målestasjonene var vanskelig å få en god tilpasning på frekvensfordelingene. 97.4 Skjåstad og 97.5 Sleddalen vektlegges ikke tungt pga. dårlig datakvalitet og kort tidsserie.

Ut fra en samlet vurdering av datakvalitet, lengde på tidsserier, stor variasjon i vekstkurver og usikkerhet ved valg av fordelingsfunksjon er det valgt å bruke vekskurven fra det regionale formelverket. Denne sammenfaller godt med frekvensfordelingen til 98.4 Øye (1983-2015). Frekvenskurvene for de lengre periodene fra 98.4 Øye består av en miks av døgn- og kulminasjonsvannføringer og vekskurvene kan dermed bli unaturlig bratte.

Tabell 5 gir resulterende døgnmiddelvannføringer ved forskjellige gjentakintervall for de aktuelle beregningspunktene.

² Serien ble beregnet ved hjelp av observert vannstand, vannføringskurve og magasinkurve. Hensikten var å beregne flomvannføringer i Horndøla. Nedbørfeltet til Horndøla utgjør 36 % av Hornindalsvatns felt. Tilsigsserien er multiplisert tilsvarende.

Tabell 4. Døgnmiddelflommer med ulike gjentaksintervall for beregningspunktene i Horndøla, basert på frekvensanalyse.

Sted	Areal km ²	Q _M (valgt)		Q ₅₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₅₀ l/s/km ²	Q ₁₀₀ l/s/km ²	Q ₂₀₀ l/s/km ²
		l/s·km ²	m ³ /s						
Horndøla v/ pkt. 1 (utl.)	137	550	75,5	141	155	171	1027	1128	1246
Horndøla v/ pkt. 2	114	580	66,1	123	136	150	1083	1190	1314

3.2 Kulminasjonsvannføringer

I små vassdrag vil kulminasjonsvannføringen være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Dette er spesielt karakteristisk i vassdrag hvor vannføringen kan stige raskt og flommene har et spisst forløp. Små nedbørfelt med lav effektiv sjøprosent vil typisk ha et raskere og spissere flomforløp sammenlignet med større nedbørfelt med høyere effektiv sjøprosent.

3.2.1 Kulminasjonsvannføring, tradisjonell metode med utgangspunkt i døgnverdier.

Forholdet mellom kulminasjonsvannføring (momentanvannføring) og døgnmiddelvannføring ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Siden det ikke finnes vannføringsdata fra vassdraget må forholdstallet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ dermed beregnes med utgangspunkt i nærliggende og lignende målestasjoner i området og beregnede forholdstall fra eksisterende formelverk (Sælthun mfl., 1997).

Målestasjon 98.4 Øye ndf. har sammenlignbare feltegenskaper med Horndøla, men pga. en noe høyere effektiv sjøprosent vil man forvente et noe lavere forholdstall mellom døgnmiddel- og kulminasjonsvannføring. Døgnmiddel og kulminasjonsvannføring for de fem største årlige vannføringene fra Øye er listet opp i tabell 6, sammen med forholdstallet mellom disse to verdiene.

Tabell 5. Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 98.4 Øye ndf.. De 5 største årlige flommene i analyseperioden med findata (1991-2015).

Dato	Kulminasjon m ³ /s	Døgnmiddel m ³ /s	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$	Kommentar
28.10.2014 18:00	158,3	104,9	1,51	
25.09.2003 21:30	138,9	82,1	1,69	
23.11.1994 21:54	118,9	58,5	2,03	
03.11.2001 02:00	108,4	66,6	1,63	
14.06.2000 03:00	102,5	71,6	1,43	Smelteflom
		Snitt	1,66	

I Sælthun *mfl.* (1997) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ og feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent) for vår- og høstsesong.

Formlene er:

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

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

hvor A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent. Resultatene presenteres i tabell 8.

Tabell 6. Forholdstallet mellom døgnmiddelflom og kulminasjonsflom for de aktuelle pkt., beregnet for vår- og høstflom*.

Sted	Areal km ²	Eff. sjø, A_{SE} %	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$		
			Vår	Høst	Middel vår/høst
Horndøla v/ pkt. 1	137	0,01	1,3	1,6	1,5
Horndøla v/ pkt. 2	114	0,1	1,3	1,6	1,5
98.4 Øye ndf.	138	0,3	1,3	1,5	1,4

Fordi det er regnflommer i dette området som er de mest kritiske, er verdien for høstflom mest aktuelle. Forholdstallene fra de observerte dataene vektlegges tyngst og forholdstallet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ for Horndøla blir dermed **1,7**. Beregnet kulminasjonsvannføring er vist i tabell 7.

Tabell 7. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentakintervall for beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer.

Sted	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$	Areal km ²	Q_M		Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
			l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²
Horndøla pkt.1	1,7	137	935	128,3	240	263	291	1746	1918	2118
Horndøla pkt.2	1,7	114	986	112,4	210	231	255	1841	2022	2234

3.2.2 Kulminasjonsvannføring, formelverk for små felt

Formelverket for flomberegninger i små felt estimerer middelflom og flommer med ulike gjentakintervall direkte som kulminasjonsverdier for nedbørfelt under ca. 50 km² (Glad *mfl.*, 2015). Som input i formelverket brukes det tre feltparametere, middeltilsiget (middelvannføringen i perioden 1961-90 i m³/s), arealet og effektiv sjøprosent. Av de tre parameterne er det middeltilsiget som er mest usikkert. Denne verdien blir hentet ut fra avrenningskartet og usikkerheten varierer kraftig mellom forskjellige geografiske plasseringer. Formelverket som helhet presenteres ikke i denne rapporten på grunn av formelverkets kompleksitet, og det henvises derfor til rapporten *Glad mfl.* (2015) for mer detaljert info. Beregnede verdier ved bruk av formelverket er presentert i tabell 10.

Tabell 8 Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentakintervall for de aktuelle punktene i Horndøla, kulminasjonsvannføringer, basert på formelverk for små uregulerte felt.

Sted	Areal km ²	Q_M		$Q_{50/}$	$Q_{100/}$	$Q_{200/}$	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²
Horndøla v/pkt. 1	137	1018	139,6	270	307	351	1966	2234	2557
Horndøla v/pkt. 2	114	1041	118,7	228	261	297	2004	2286	2606

3.2.3 Endelig valg av kulminasjonsvannføring

Beregnet vannføring for Q_{200} i Horndøla gir med formelverket for små felt 20 % større vannføring enn beregningene gjort ved hjelp av observerte data og regionale flomformler.

I følge Glad mfl. (2015) fås usikkerheten ved bruk av formelverket for små felt for henholdsvis lave (< 100 år) og høye gjentakintervall (> 100 år) ved å multiplisere eller dividere med henholdsvis ca. 1,8 og 2,0 med et 95 % konfidensintervall. Beregningene gjort via observasjoner og regionale formler ligger i så tilfelle godt innenfor dette konfidensintervallet.

I og med at formelverket i utgangspunktet ikke er gyldig for felt > 50 km² velges kulminasjonsvannføringer basert på de flomfrekvensanalysene og de regionale flomformlene.

3.3 Justering av flomverdier i forhold til forventete klimaendringer

I NVE-report 5-2011 "Hydrological projections for floods in Norway under a future climate" (Lawrence og Hisdal, 2011) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til forventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentakintervall. En oppdatering av denne rapporten er under ferdigstilling. Lawrence har pr. epost bekreftet at for Horndøla vil klimapåslaget ikke endres fra tidligere anbefalinger.

Ut fra avsnitt 8.4 i nevnte rapport, velger man å benytte en faktor på 1,2 (20 % økning) for å anslå klimaendringers effekt på flommer med forskjellige gjentakintervall.

Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100) blir dermed som i tabell 11.

Tabell 9. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentakintervall for de aktuelle elvene, kulminasjonsvannføringer, justert med + 20 % som følge av forventede klimaendringer.

Sted	Areal km ²	Q_M		Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²
Horndøla v/ pkt. 1	137,2	1122	153,9	287	316	349	2095	2301	2542
Horndøla v/ pkt. 2	114,0	1183	134,9	252	277	306	2209	2427	2680

4 Usikkerhet

Det er en hel del usikkerhet knyttet til frekvensanalyser av flomvannføringer. De observasjoner som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven men disse direkte målingene er ofte ikke utført på store flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstander og vannføringer, dvs. også ”observerte” flomvannføringer inneholder en stor grad av usikkerhet. Andre kilder til usikkerhet er bruk av døgnmiddelverdier og mangel av lange findataserier.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig det å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. I «Veileder for flomberegninger i små felt» (Stenius mfl. 2015) er det beskrevet en tilnærming for å klassifisere flomberegningen og det tilgjengelige hydrologiske datagrunnlaget. Ut fra metoden beskrevet i Stenius mfl. (2015) vurderes usikkerheten i flomberegningen for Horndøla til svært stor «Begrenset hydrologisk datagrunnlag og store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området».

5 Referanser

Glad, P. A., Reitan, T. og Stenius, S. (2015): Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt. NVE Rapport nr. 8-15. www.nve.no.

Holmqvist, E. (2001): Flomberegning for Hornindalsvassdraget (89.Z), NVE rapport nr. 4 - 2001.

Lawrence og Hisdal (2011): Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE Report No. 5-11. www.nve.no.

Lawrence, D. (2016). Klimaendring og fremtidige flommer i Norge, NVE Rapport (til trykk).

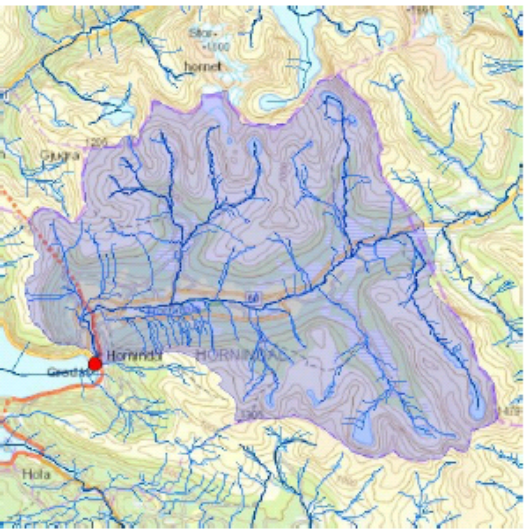
Midttømme, G.H mfl. (2011): Retningslinjer for flomberegninger. NVE Retningslinjer nr. 4-2011.

Stenius, S., Glad, P.A., Wang, T. K., Væringstad T. (2015): Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE Veileder 7-2015.

Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og Roald, L. A. (1997). Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE Rapport nr. 14 – 1997.

Vedlegg 1

Nedbørfelt med feltkarakteristika for Horndøla ved utløpet til Hornindalsvatnet (Pkt.1)



Norges vassdrags- og energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N

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

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 089.C20
Kommune: Hornindal
Fylke: Sogn og Fjordane
Vassdrag: HORNDALS-VASSDRAG ET

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	75.6 l/s/km ²
Alminnelig lavvannføring	5.2 l/s/km ²
5-persentil (hele året)	5.5 l/s/km ²
5-persentil (1/5-30/9)	15.7 l/s/km ²
5-persentil (1/10-30/4)	4.0 l/s/km ²
Base flow	31.8 l/s/km ²
BFI	0.4

Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	1949 mm
Sommernedbør	658 mm
Vinternedbør	1311 mm
Arvtemperatur	3.2 °C
Sommertemperatur	7.8 °C
Vintertemperatur	-0.2 °C
Temperatur juli	9.6 °C
Temperatur august	9.8 °C

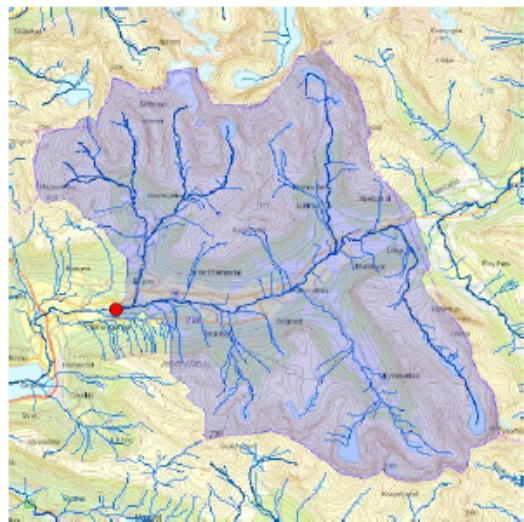
Feltparametere	
Areall (A)	137.2 km ²
Effektivt sjø (S _{eff})	0.0 %
Elvelengde (E _L)	23.3 km
Elvegradient (E _G)	40.1 m/km
Elvegradient ₁₀₀₅ (G ₁₀₀₅)	44.1 m/km
Feltlengde (F _L)	14.4 km
H _{min}	56 moh.
H ₁₀	285 moh.
H ₂₀	382 moh.
H ₃₀	490 moh.
H ₄₀	604 moh.
H ₅₀	699 moh.
H ₆₀	784 moh.
H ₇₀	867 moh.
H ₈₀	970 moh.
H ₉₀	1093 moh.
H _{max}	1510 moh.
Bve	0.5 %
Dyrket mark	5.6 %
Myr	5.4 %
Sjø	2.0 %
Skog	32.7 %
Sannfjell	51.9 %
Urban	0.1 %

Denne regionen gir generelt gode estimater av lavvannsindeksene. Indekser som ikke er beregnet skyldes manglende parameter(e).

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeksene. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Nedbørfelt med feltkarakteristika for Horndøla ved industriområdet oppstrøms Sagøyna.(Pkt.2)



Norges vassdrags- og energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N

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

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 089.C1
Kommune: Hornindal
Fylke: Sogn og Fjordane
Vassdrag: HORNDALS-VASSDRAG ET

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	80.3 l/s/km ²
Alminnelig lavvannføring	5.4 l/s/km ²
5-persentil (hele året)	5.7 l/s/km ²
5-persentil (1/5-30/9)	17.5 l/s/km ²
5-persentil (1/10-30/4)	4.2 l/s/km ²
Base flow	32.9 l/s/km ²
BFI	0.4

Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	1953 mm
Sommernedbør	652 mm
Vinternedbør	1301 mm
Arvtemperatur	2.9 °C
Sommertemperatur	7.5 °C
Vintertemperatur	-0.4 °C
Temperatur juli	9.2 °C
Temperatur august	9.4 °C

Feltparametere	
Areall (A)	113.8 km ²
Effektivt sjø (S _{eff})	0.1 %
Elvelengde (E _L)	18.5 km
Elvegradient (E _G)	44.0 m/km
Elvegradient ₁₀₀₅ (G ₁₀₀₅)	47.4 m/km
Feltlengde (F _L)	12.7 km
H _{min}	173 moh.
H ₁₀	362 moh.
H ₂₀	458 moh.
H ₃₀	566 moh.
H ₄₀	666 moh.
H ₅₀	746 moh.
H ₆₀	830 moh.
H ₇₀	906 moh.
H ₈₀	1001 moh.
H ₉₀	1118 moh.
H _{max}	1510 moh.
Bve	0.6 %
Dyrket mark	3.8 %
Myr	6.1 %
Sjø	2.4 %
Skog	28.5 %
Sannfjell	56.8 %
Urban	0.0 %

Denne regionen gir generelt gode estimater av lavvannsindeksene. Indekser som ikke er beregnet skyldes manglende parameter(e).

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeksene. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no