



Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z)

Thomas Væringstad

16
2014



R
A
P
P
O
R
T

Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z)

Norges vassdrags- og energidirektorat

2014

Rapport nr. 16 - 2014

Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Thomas Væringstad

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 30

Forsidefoto: Nesttun, 2005 (foto: Espen Forsberg)

ISSN: 1501-2832

Sammendrag: I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for et delprosjekt i Nesttunvassdraget i Hordaland. Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentakintervall er beregnet for flere punkter i vassdraget.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Nesttunvassdraget

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

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

Februar 2014

Innhold

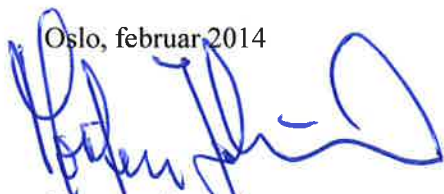
Forord	4
Sammendrag	5
1. Beskrivelse av oppgaven	6
2. Beskrivelse av vassdraget	7
3. Hydrometriske stasjoner	10
4. Beregning av flomverdier	12
4.1. Flomfrekvensanalyser	12
4.2. Beregning av middelflom	14
4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring	16
4.4. Vannføringen 14. september og 14. november 2005	17
4.5 Tilløpsflom og routing gjennom vassdraget	18
4.6 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer	18
5. Usikkerhet	20
Referanser	21

Forord

Flomsonekartlegging er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Beregning av flomvannføringer på flomutsatte elvestrekninger er en del av dette arbeidet. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer som blant annet benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med flomsonekartlegging av flomutsatte elvestrekninger i Nesttunvassdraget i Hordaland. Rapporten er utarbeidet av Thomas Væringstad og kvalitetskontrollert av Erik Holmqvist.

Oslo, februar 2014



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for Nesttunvassdraget omfatter delprosjekt fs 056_1 Nesttun i NVEs Flomsonekartprosjekt. Nesttunvassdraget er et kystnært vassdrag i Hordaland i Bergen kommune og hvor elva munner ut i Nordåsvatnet. Store flommer forekommer som oftest om høsten. Flomepisoder er normalt forårsaket av intens nedbør i form av regn og noen ganger i kombinasjon med noe snøsmelting.

Det er blitt opplyst om at det skal finnes data fra en målestasjon beliggende i Grimevatnet, men vi har ikke klart å få tak i vannføringsdata derfra. Flomberegningen er dermed basert på regionale flomformler og frekvensanalyser av observerte flommer ved målestasjoner i nærliggende vassdrag. Det er beregnet kulminasjonsvannføring for ulike gjentaksintervall ved utløpet i fjorden. Det er antatt at kulminasjonsvannføringen er mellom 30 – 105 prosent større enn døgnmiddelvannføringen for alle gjentaksintervall. Resultatene av beregningene ble:

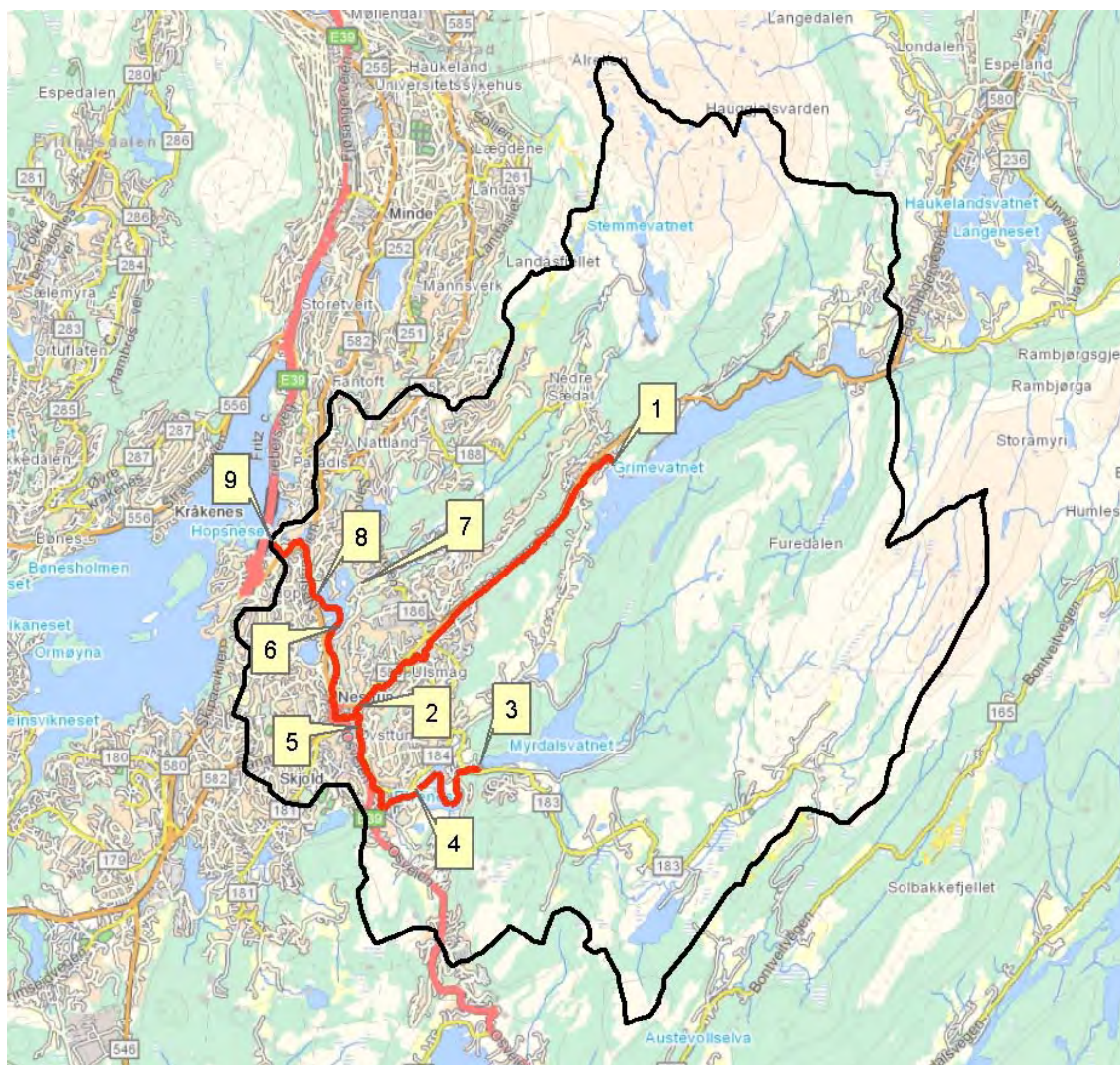
Punkt i vassdraget	Q_M m ³ /s	Q_5 m ³ /s	Q_{10} m ³ /s	Q_{20} m ³ /s	Q_{50} m ³ /s	Q_{100} m ³ /s	Q_{200} m ³ /s	Q_{500} m ³ /s	Q_{1000} m ³ /s
Grimevatnet ndf. (1)	13.5	17	19	21	25	28	31	34	36
Midtunelva (2)	17.0	21	25	27	32	35	39	42	46
Myrdalsvatnet ndf. (3)	20.3	25	29	32	38	42	46	50	54
Birkelandsvatnet ndf (4)	24.9	31	36	40	47	51	57	62	67
Øvsttunelva (5)	27.0	33	39	43	50	55	61	67	73
Nesttunvatnet ovf. (6)	48.3	60	70	77	90	99	110	120	130
Sandalselva (7)	13.0	16	19	21	24	27	30	32	35
Nesttunvatnet ndf. (8)	60.5	75	87	96	113	124	137	151	163
Utløp Nordåsvatnet (9)	65.1	81	94	103	122	133	148	162	175

Som følge av klimaendringers effekt på flommer i Nesttunvassdraget frem mot år 2100, er det ventet en økning av flomstørrelsene ved forskjellige gjentaksintervall på 20 prosent.

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig, og det er mange faktorer som spiller inn. På grunn av manglende datagrunnlag i Nesttunvassdragets nedbørfelt for å beregne flommer, klassifiseres denne flomberegningen i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for flomutsatte elvestrekninger i Nesttunvassdraget i Bergen kommune i Hordaland som en del av NVEs Flomsonekartprosjekt. Som grunnlag for konstruksjon av flomsonekart skal kulminasjonsverdier av middelflom og flommer med gjentakintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år beregnes ved ulike punkter i vassdraget. Den aktuelle strekningen som skal flomsonekartlegges strekker seg fra utløpet i Nordåsvatnet til henholdsvis Grimevatnet og Myrdalsvatnet. Kart over Nesttunvassdragets nedbørfelt er vist i Figur 1 og strekningene som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med rødt. Punktene på kartet refererer til steder der det er beregnet flomverdier.



Figur 1. Kart over Nesttunvassdragets nedbørfelt. Strekningene som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med rødt.

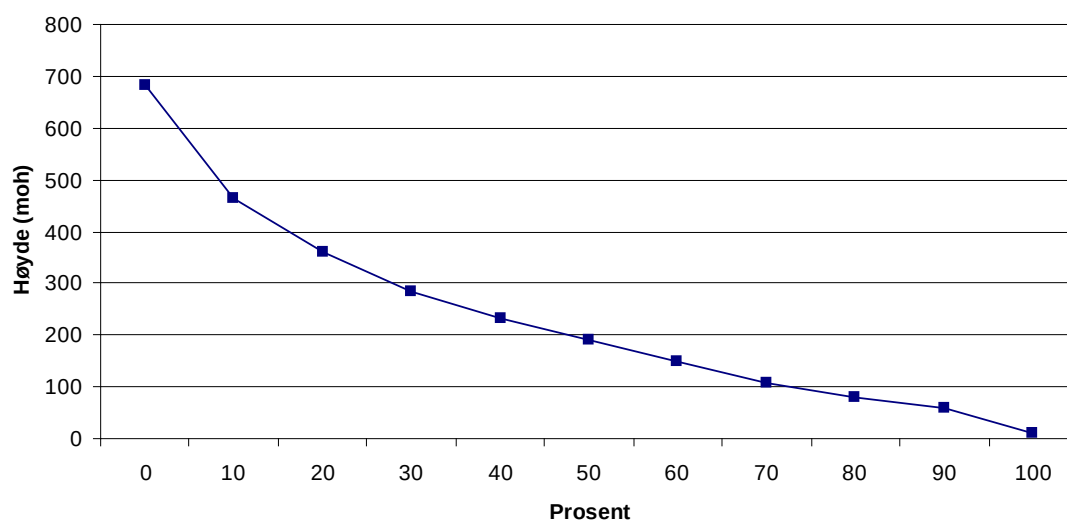
2. Beskrivelse av vassdraget

Nesttunvassdraget ligger i Bergen kommune i Hordaland og har utløp i Nordåsvatnet. Det er noen mindre reguleringer i vassdraget, og nedbørfeltet har gradvis blitt mer påvirket av urbanisering. Nedbørfeltet drenerer hovedsakelig i sørvestlig retning, mens den nedre delen av elva renner i nordvestlig retning. Nedbørfeltet har et totalt areal på 44 km². Høydefordelingen strekker seg fra havnivå til opp i snaut 700 moh. Median høyde er på 190 moh. og høyeste punkt i vassdraget er Livarden på 683 moh. Hypsografisk kurve for vassdraget er vist i Figur 2 og aktuelle feltparametere er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1. Feltparametere for Nesttunvassdragets nedbørfelt. Tallene i parentes stemmer overens med punktene i figur 1.

Stasjon	Feltareal (km ²)	Eff. sjø (%)	Q _N * (l/s·km ²)	Høydeintervall (moh.)	Feltlengde (km)
Grimevatnet ndf. (1)	11,4	7,8	83,9	72-673	4,0
Midtunelva (2)	13,6	5,5	81,3	30-673	7,6
Myrdalsvatnet ndf. (3)	13,9	2,9	82,4	74-683	5,9
Birkelandsvatnet ndf (4)	17,3	2,4	79,2	55-683	6,7
Øvsttunelva (5)	18,7	2,1	77,8	30-683	6,9
Nesttunvatnet ovf. (6)	33,0	1,6	78,9	20-683	7,5
Sandalselva (7)	6,09	0,0	93,0	14-650	6,3
Nesttunvatnet ndf. (8)	41,1	1,4	80,1	14-683	7,1
Utløp Nordåsvatnet (9)	44,2	1,2	79,4	0-683	7,4

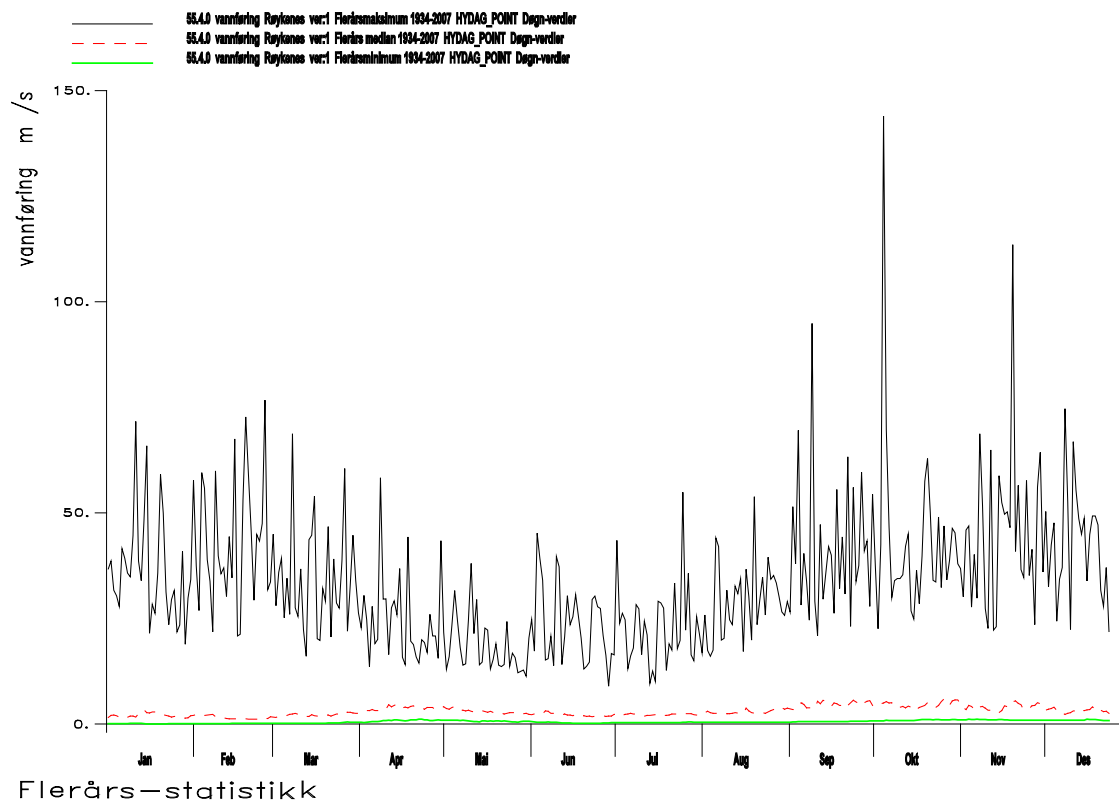
* Avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990.



Figur 2. Hypsografisk kurve for Nesttunvassdragets totale nedbørfelt. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som er over en gitt høyde.

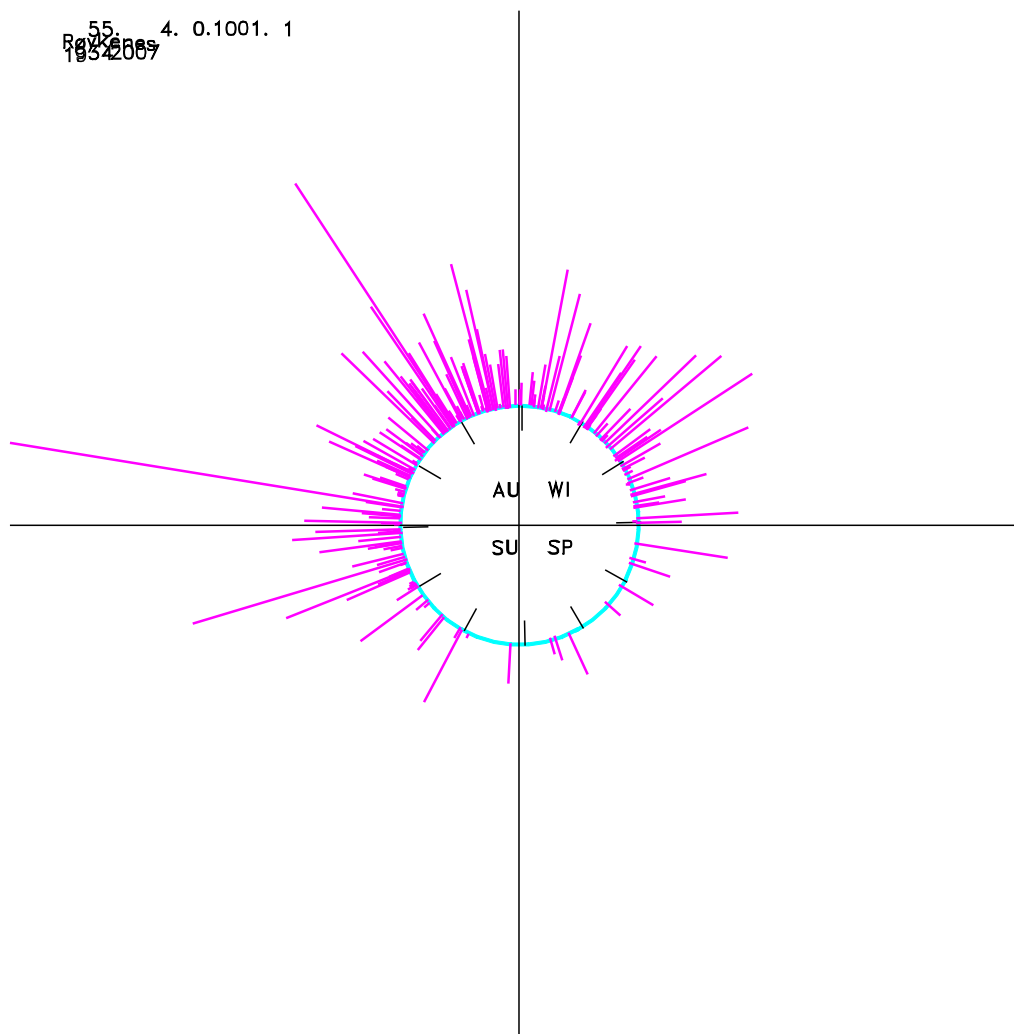
Det er flere mindre sjøer i vassdraget og det er antatt at disse vil ha en noe dempende virkning på flommer. Normalavløpet for vassdraget er beregnet ut fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE, 2002) og gir en midlere spesifikk avrenning på ca. 80 l/s·km². Avrenningen varierer fra rundt 60 l/s·km² i de lavereliggende områdene rundt fjorden til godt over 100 l/s·km² i de høyereliggende områdene. Avrenningskartet har en usikkerhet på ± 20 % og øker i alminnelighet for små arealer.

Sammenligning mellom avrenningskartet og observerte data for målestasjon 55.4 Røykenes viser god overensstemmelse. Røykenes har observert middelavrenning for normalperioden 1961-1990 på 99,7 l/s·km², mens tilsvarende avrenning beregnet fra avrenningskartet er 101 l/s·km².



Figur 3. Karakteristiske vannføringer ved stasjon 55.4 Røykenes. Figuren viser henholdsvis største, median og minste observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året for perioden 1934 – 2007.

Figur 3 viser karakteristiske vannføringsverdier for 55.4 Røykenes som antas å beskrive avrenningsmønsteret i Nesttunvassdraget godt. Øverste kurve i diagrammet viser største observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året. Nederste kurve viser minste observerte vannføring i løpet av måleperioden og den midterste kurven er mediankurven, dvs. at det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større eller mindre enn denne.



Figur 4. Flommer observert ved målestasjon 55.4 Røykenes i perioden 2001 – 2007. Sirkelen representerer året med 1. januar rett opp. Flommene er markert med når på året de inntreffer og med relativ størrelse.

Figur 4 viser relativ flomstørrelse og tidspunkt for flommer ved målestasjon 55.4 Røykenes over en gitt terskelverdi, her på ca $33 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som er rundt 65 prosent av middelflom ved vannmerket for perioden 1934 – 2007.

Ut fra Figur 3 og Figur 4 kan en se at store flommer ved målestasjon 55.4 Røykenes som oftest inntreffer om høsten og vinteren, men de kan også hende i andre deler av året.

3. Hydrometriske stasjoner

Det er ikke foreliggende data fra målestasjoner med vannføring/vannstand i Nesttunvassdraget. Andre nærliggende og lignende målestasjoner er derfor vurdert. Figur 5 viser beliggenheten til de nærliggende målestasjonene og feltparameterne er oppsummert i Tabell 2. Nedenfor er det gjort en kort beskrivelse av de aktuelle målestasjonene.

42.2 Djupevad ligger i Kvinnherad kommune ca 60 km sør-sørøst for Nesttunvassdraget. Stasjonen har observasjoner siden 1963. Nedbørfeltets areal er 31,9 km² og midlere felthøyde er 526 moh. Den effektive sjøprosenten er lav og selvreguleringsevnen til feltet er relativt liten. Vannføringskurven består av to perioder, og kvaliteten på flom vurderes som meget god fra 1976.

Målestasjon 55.4 Røykenes ligger i nabovassdraget Oselva og dekker omtrent halve nedbørfeltet. Stasjonen ble satt i drift i 1934 og observasjonsperioden er derfor lang. Frem til 1977 besto observasjonene av en daglig avlesning av vannstandsskalaen, fra den tid er stasjonen utstyrt med kontinuerlig registrerende instrument. Vannføringskurven på flom er antatt å være middels bra.



Figur 5. Oversikt over avløpsstasjoner benyttet i beregningene. Nedbørfeltet til hver enkelt stasjon er inntegnet med svart strek.

Tabell 2. Feltparametere for målestasjoner i Nesttunvassdragets omegn.

Stasjon	Feltareal (km²)	Eff. sjø (%)	Normalavløp, Q_N (l/s·km²)*	Høydeintervall (moh.)	Median høyde (moh.)
42.2 Djupevad	31,9	0,1	108/100,6	88-1152	526
55.4 Røykenes	50,1	2,2	101/99,7	53-960	307
55.5 Dyrdalsvatn	3,31	4,0	146/128,1	436-808	575
55.7 Eikelandssosen	41,9	6,0	136/-	48-972	515
56.1 Sandsli	0,08	0,0	59/-	40-62	54
56.2 Håvardstun	2,20	2,7	58/-	35-100	55
61.8 Kaldåen	15,9	0,0	108/96,9	579-1128	885
62.18 Svartavatn	72,1	0,1	103/-	219-1110	753

* Normalavløp funnet fra henholdsvis avrenningskartet for perioden 1961 – 1990 og hele observasjonsperioden til målestasjonen.

Målestasjon 55.5 Dyrdalsvatn ligger i øvre deler av Oselva og har et feltareal på 3,31 km². Stasjonen har observasjoner siden 1977, men det mangler periodevis data. Vannføringskurven på flom er antatt å være middels bra. Målestasjonen gir en indikasjon på flomforholdene i Nesttunvassdraget, men har antatt raskere respons enn hovedelva.

Målestasjon 55.7 Eikelandssosen ligger i Fusa kommune ca 20-25 km øst for Nesttunvassdraget. Stasjonen har observasjoner siden 1980, men feltet er regulert fra 1985.

Målestasjonene 56.1 Sandsli og 56.2 Håvardstun er urbanstasjoner beliggende i Bergen kommune. Dataene er gjennomgått primærkontroll, men mangler sekundærkontroll. Det er også noe usikkerhet knyttet til feltgrenser. På grunn av usikker datakvalitet er målestasjonene tillagt liten vekt i analysene for Nesttunvassdraget.

Målestasjon 61.8 Kaldåen ligger 15-20 km nord-nordvest for Øysteseelvi. Stasjonen har observasjoner siden 1985. Nedbørfeltets areal er 16,1 km² og midlere felthøyde er 885 moh. Den effektive sjøprosenten og selvreguleringsevnen til feltet er liten. Kvaliteten på vannføringskurven under flom vurderes som middels god.

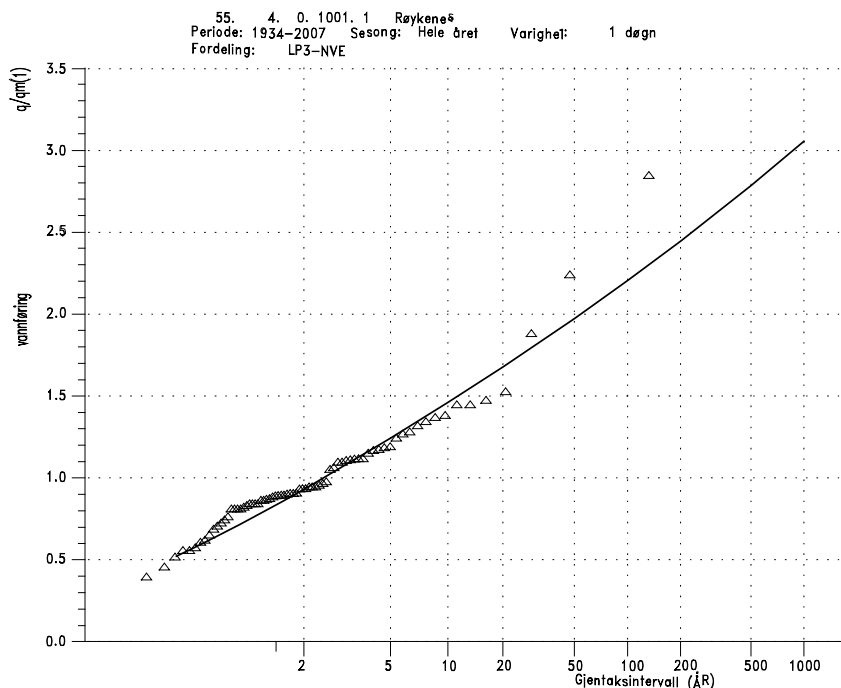
Målestasjon 62.18 Svartavatn ligger i Voss kommune ca 50-60 km nordøst for Nesttunvassdraget. Stasjonen har observasjoner siden 1987. Nedbørfeltets areal er 72,1 km² og midlere felthøyde er 753 moh. Vannføringskurven er litt usikker.

4. Beregning av flomverdier

Grunnlaget for flomsonekartleggingen er flomvannføringer for gitte gjentakintervall som beskrevet i kapittel 1. Siden det finnes observasjon av vannføring i Nesttunvassdraget er utgangspunktet for flomfrekvensanalysen observasjonsserie av vannføring, samt en sammenligning med nærliggende vassdrag og regionale flomfrekvenskurver (Sælthun *et al.*, 1997).

4.1. Flomfrekvensanalyser

En skiller gjerne mellom vårflokker og høstflokker. Store vårflokker er ofte en kombinasjon av snøsmelting og regn. Høstflokker kommer som regel fra en ren regnhendelse. De underliggende mekanismene er forskjellige og kan ha ulike fordelinger. Vårflokker er årvisse og stiger generelt moderat mot høye gjentakintervall. Høstflokker kan være små eller mangle helt enkelte år, men stiger ofte raskere for sjeldne hendelser. I vassdrag med klart definert sesongskille er regionale kurver derfor lagd separat for vårflokker og høstflokker. I kystnære og relativt lavtliggende Vestlandsvassdrag vil milde perioder i kombinasjon med nedbør i form av regn kunne gi flokker om vinteren. Det vil derfor være fare for flom gjennom store deler av året og det er ikke noe klart sesongskille. Regionale kurver i slike vassdrag er derfor basert på årsflokker.

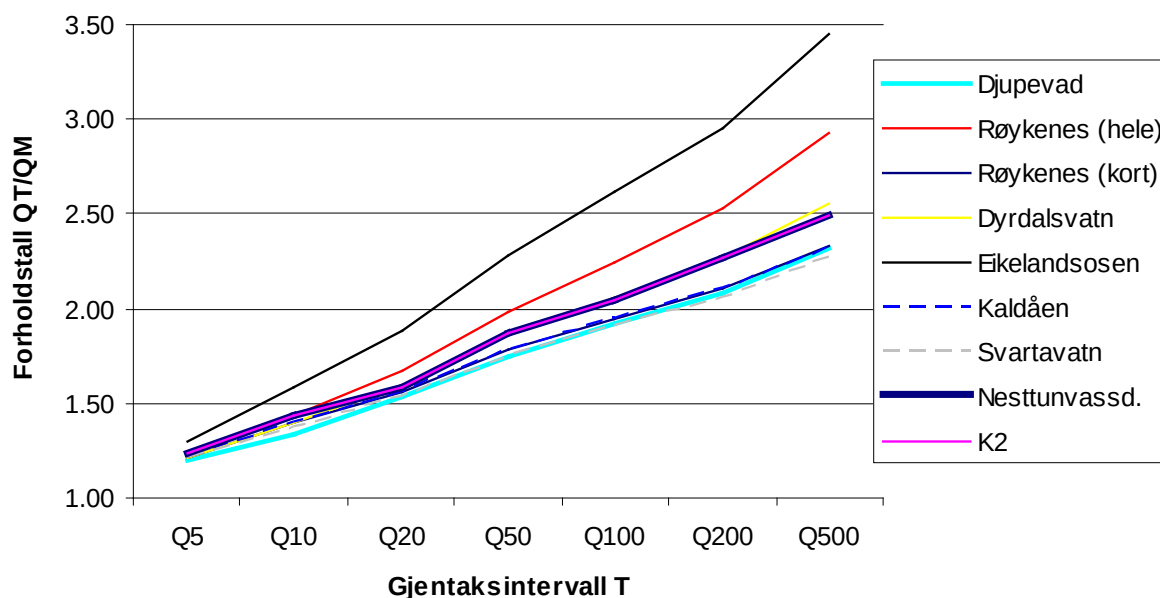


Figur 6. Tilpasset fordelingsfunksjon til årsflokker (døgnmiddel) ved stasjon 55.4 Røykens. Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet Q_T/Q_M .

I flomsonekartprosjektet legges frekvensanalyse av årsflommer til grunn for beregningene (NVE, 2000). Det vil si at frekvensanalysen er basert på en serie som består av den største observerte døgnmiddelvanntilføringen for hvert år.

Med bakgrunn i dette er det utført flomfrekvensanalyser av årsflommer ved målestasjonene beskrevet i kapittel 3. For hver stasjon tilpasses ulike fordelingsfunksjoner, og den frekvensfordelingen som vurderes best tilpasset de observerte årsflommene velges. Figur 6 viser fordelingsfunksjonen som synes å være best tilpasset de observerte årsflommene ved målestasjon 55.4 Røykenes. Dataserien ved Røykenes består av en blanding av kulminasjonsverdier og reelle døgngjennomsnitt. Det er derfor usikkert om noen av flomverdiene representerer nærmere kulminasjonsverdier enn døgnmiddelverdier. Dette kan gi utslag i litt brattere frekvenskurve. Frekvensfordelingen ved Røykenes er derfor valgt litt mindre bratt enn hva de to største flommene tilsier i figur 6. Frekvensfordeling for de forskjellige stasjonene er sammenfattet i Tabell 3. Midlere flom (Q_M) er oppgitt i absolutte og spesifikke verdier og flommer for ulike gjentakintervall (Q_T) som forholdstallet (flomfrekvensfaktor) til midlere flom (Q_T/Q_M). Flomfrekvensfaktorene er også illustrert i Figur 7. Det er stor variasjon i de valgte frekvensfaktorene ved målestasjonene og forholdstallet Q_{500}/Q_M ligger eksempelvis fra 2.27 ved Svartavatn til 3.45 ved Eikelandssosen. Eikelandssosen er påvirket av regulering noe som vil gi utslag på frekvenskurven.

Det er også foretatt en sammenligning med regionale flomfrekvenskurver (Sælthun *et al.*, 1997). I kystregionene er disse basert på årsflommer, og i Tabell 3 er flomfrekvensfaktorene for region K2 gitt. Region K2 dekker områdene innenfor den ytterste kyststripen og omfatter mange fjorder og kystnære strøk, som bl.a. Nesttunvassdraget. De regionale kurvene er basert på avløpsfelt i størrelsesorden fra 20 km² og oppover. I så måte er størrelsen på nedbørfeltet til Nesttunvassdraget innenfor grunnlaget av hva de regionale kurvene dekker.



Figur 7. Flomfrekvensfaktorer (Q_T/Q_M) av årsflommer (døgnmiddel), for aktuelle målestasjoner, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun *et al.*, 1997).

Flomforholdene i et nedbørfelt påvirkes både av klimatiske og fysiografiske forhold. Ved valg av representativ frekvensfordeling for umålte felt, er det antatt at klimatiske forhold har størst betydning. Nedbørfeltene til målestasjonene Kaldåen og Svartavatn ligger i snitt en del høyere sammenlignet med Nesttunvassdraget.

Flomfrekvensfaktorene for de regionale kurvene (K2) ligger omtrent som av gjennomsnittet for alle målestasjonene i Tabell 3 hvis man ser bort fra Eikelandssosen. Den regionale kurven er noe lavere enn estimert for Røykenes (hele perioden) og noe høyere enn Røykenes (kort periode). Som representativ frekvensfordeling for Nesttunvassdraget er det valgt å bruke frekvensfaktorene for den regionale kurven. Verdier virker rimelig sammenlignet med målestasjonene som er undersøkt.

Tabell 3. Flomfrekvensanalyser av årsflommer for aktuelle målestasjoner, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun et al., 1997).

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km ²	Q _M		Q ₅ / Q _M	Q ₁₀ / Q _M	Q ₂₀ / Q _M	Q ₅₀ / Q _M	Q ₁₀₀ / Q _M	Q ₂₀₀ / Q _M	Q ₅₀₀ / Q _M	Q ₁₀₀₀ / Q _M
				l/s•km ²	m ³ /s								
42.2 Djupevad	1964-2011	48	31,9	1037	33,1	1,20	1,37	1,54	1,76	1,93	2,10	2,33	2,50
42.16 Fjellhaugen	1998-2011	14	6,31	1284	7,8	-	-	-	-	-	-	-	-
55.4 Røykenes	1934-2011	78	50,1	1015	50,9	1,22	1,43	1,65	1,95	2,20	2,45	2,82	3,12
55.4 Røykenes	1978-2011	34	50,1	962	48,2	1,21	1,38	1,54	1,75	1,91	2,07	2,28	2,44
55.5 Dyralsvatn	1978-2011	29	3,24	1222	4,0	1,20	1,37	1,53	1,73	1,88	2,04	2,24	2,39
55.7 Eikelandssosen	1981-2011	29	41,9	545	22,8	1,33	1,59	1,84	2,17	2,42	2,66	2,99	3,23
61.8 Kaldåen	1985-2011	24	15,9	943	15,0	1,22	1,41	1,58	1,81	1,98	2,15	2,37	2,54
62.18 Svartavatn	1987-2011	24	72,1	1100	79,3	1,20	1,36	1,52	1,72	1,88	2,03	2,23	2,38
Nesttunvassdraget	-	-	44,2	950	-	1,24	1,44	1,59	1,87	2,05	2,27	2,49	2,69
Regional kurve K2	-	-	-	-	-	1,24	1,44	1,59	1,87	2,05	2,27	2,49	2,69

4.2. Beregning av middelflom

Ved beregning av absolutte flomstørrelser bør feltkarakteristika som effektiv sjøprosent og feltareal i større grad inngå i vurderingen av representative nedbørfelt enn i frekvensanalysen. Spesifikk middelflom antas å avta med økt størrelse på nedbørfeltet, ved at flomtoppene fra de ulike delfeltene vil nå hovedvassdraget til litt forskjellig tid. Spesifikk middelflom vil også avta med økt effektiv sjøprosent, ved at sjøer har en flomdempende effekt.

Spesifikk middelflom varierer relativt lite for stasjonene i området (Tabell 3) og ligger i størrelsesorden fra 950 l/s•km² til 1280 l/s•km². Da er det sett bort fra Eikelandssosen som er påvirket av regulering. De fleste av sammenligningsfeltene har feltareal i omtrent samme størrelsesorden, men noe avvikende effektiv sjøprosent sammenlignet med Nesttunvassdraget. Høy effektiv sjøprosent har som nevnt en reduserende effekt på flommer. Når det gjelder

feltegenskaper, er det nok Røykenes og Djupevad som er mest sammenlignbart med Nesttunvassdraget, selv om feltet til Djupevad høydemessig ligger noe høyere.

I Sælthun *et al.* (1997) er det utarbeidet regionale flomformler for beregning av spesifikk middelflom som bygger på regresjon mot feltparametere. For Nesttunvassdragets nedbørfelt er følgende formel aktuell:

$$\text{Region K2: } \ln(Q_M) = 1,1524 \cdot \ln(Q_N) - 0,0463 \cdot A_{SE} + 1,57$$

Spesifikk middelflom beregnes med bakgrunn i årlig middelavrenning i l/s·km² (Q_N) og effektiv sjøprosent (A_{SE}). Spesifikk middelflom beregnet med regional formel for K2 gir verdier som gitt i tabell 4. Verdiene ligger en del under spesifikk middelflom ved sammenligningsfeltene.

Tabell 4. Beregnet middelflom ved punktene basert på regional formel.

Beregningspunkt	Pkt 1	Pkt 2	Pkt 3	Pkt 4	Pkt 5	Pkt 6	Pkt 7	Pkt 8	Pkt 9
Middelflom (l/s·km ²)	552	592	678	663	659	685	892	704	703

Med bakgrunn i dette antas en spesifikk middelflom i Nesttunvassdraget (hele nedbørfeltet) å ligge i størrelsesorden 950 l/s·km². Dette er i størrelsesorden hva som er observert for Røykenes (kort periode). Det er antatt at lavere effektiv sjøprosent vil gi litt større spesifikke flommer, mens mindre spesifikk avrenning vil virke i motsatt retning sammenlignet med Røykenes. Spesifikk middelflom (i l/s·km²) fra tabell 4 er for de andre punktene i vassdraget justert med formelen:

$$Q_M = 950 + (Q_{M(n)} - 700)/2$$

Med valgte verdier for middelflom, og flomfrekvensfordelingen som antas representativ for Nesttunvassdraget ved de ulike punktene, blir de resulterende flomverdiene som vist i tabell 5.

Tabell 5. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentakintervall for Nesttunvassdraget, døgnmiddelvanntføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	Q _M		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
		l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Grimevatnet ndf. (1)	11,4	875	10.0	12.4	14.4	15.9	18.7	20.4	22.6	24.8	26.8
Midtunelva (2)	13,6	895	12.2	15.1	17.5	19.4	22.8	25.0	27.6	30.3	32.7
Myrdalsvatnet ndf. (3)	13,9	940	13.1	16.2	18.8	20.8	24.4	26.8	29.7	32.5	35.1
Birkelandsvatnet ndf	17,3	930	16.1	20.0	23.2	25.6	30.1	33.0	36.5	40.1	43.3
Øvstunelva (5)	18,7	930	17.4	21.6	25.0	27.7	32.5	35.7	39.5	43.3	46.8
Nesttunvatnet ovf. (6)	33,0	945	31.2	38.7	44.9	49.6	58.3	63.9	70.8	77.7	83.9
Sandalselva (7)	6,09	1045	6.4	7.9	9.2	10.1	11.9	13.0	14.4	15.8	17.1
Nesttunvatnet ndf. (8)	41,1	950	39.0	48.4	56.2	62.1	73.0	80.0	88.6	97.2	105.0
Utløp Nordåsvatnet (9)	44,2	950	42.0	52.1	60.5	66.8	78.5	86.1	95.3	104.6	113.0

4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmiddelvannføring. I små vassdrag vil kulminasjonsvannføring være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Dette er spesielt karakteristisk i vassdrag hvor vannføringen kan stige raskt og flommene har et spisst forløp. Små nedbørfelter med lav effektiv sjøprosent vil typisk ha et raskere og spissere flomforløp sammenlignet med større nedbørfelter med høyere effektiv sjøprosent. Nesttunvassdraget har et relativt lite nedbørfelt, men med noe dempning på grunn av flere vann.

Forholdet mellom kulminasjonsvannføring (momentanvannføring) og døgnmiddelvannføring ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$) anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget, og/eller eventuelt i nærliggende vassdrag, avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning. Forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring i Nesttunvassdraget er vurdert med bakgrunn i observerte data ved målestasjon 55.4 Røykenes og regionale formler (Sælthun *et al.*, 1997).

For Røykenes er fem flommer (døgnmiddel) sammenlignet med tilhørende kulminasjonsvannføringer. Tabell 6 viser kulminasjonsvannføring, døgnmiddelvannføring og forholdstallet, $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$, mellom disse. Kulminasjonsvannføringen er i gjennomsnitt ca 45 % større enn døgnmiddelvannføringen for høstflommer. Den største registrerte flommen etter at stasjonen fikk kontinuerlig registrerende utstyr er en høstflom og har forholdstall 1.39.

Ved flomvarslingstjenesten i NVE er det utført flomfrekvensanalyse ved målestasjon 55.5 Dyrdalsvatn både på døgnmiddelvannføringer og kulminasjonsverdier. Analysene viser at kulminasjonsverdiene i gjennomsnitt er 88 prosent større enn døgnmiddelvannføringene.

Tabell 6. Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved Røykenes.

Dato	Kulminasjon m ³ /s	Døgnmiddel m ³ /s	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$
14.09.2005	132,0	95,0	1,39
14.11.2005	115,7	68,6	1,69
09.02.1998	74,3	60,1	1,24
10.04.1999	85,5	58,8	1,45
19.12.1993	80,9	55,1	1,47

I Sælthun *et al.* (1997) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ og feltkarakteristika for vår- og høstsesong. For vårflokker gjelder formelen:

$$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5},$$

mens formelen for høstflommer er:

$$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5},$$

hvor A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent. I Nesttunvassdraget vil de største flommene som regel inntreffe om høsten. Formelen for høstflommer gav forholdstall for de ulike punktene i vassdraget som gitt i tabell 7. Forholdstallene varierer fra 1,23 nedenfor Grimevatnet til 2,06 for Sandalselva. Stor andel urbane områder vil trolig øke responsen i avrenningen for feltet.

Tabell 7. Beregnet forholdstall fra regionalt formelverk mellom kulminasjonsverdier og døgnmiddelflom ved punktene.

Beregningspunkt	Pkt 1	Pkt 2	Pkt 3	Pkt 4	Pkt 5	Pkt 6	Pkt 7	Pkt 8	Pkt 9
Forholdstall Q_{mom}/Q_{mid}	1.23	1.33	1.50	1.51	1.53	1.51	2.06	1.50	1.52

Benyttede forholdstall er valgt ut fra en subjektiv vurdering, observasjoner ved Røykenes, Dyralsvatn og regionale formler. Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentakintervall i Nesttunvassdraget er vist i tabell 8.

Tabell 8. Flomverdier i Nesttunvassdraget ved de ulike punktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Areal km ²	$Q_{mom}/$ Q_{mid}	Q_M m ³ /s	Q_5 m ³ /s	Q_{10} m ³ /s	Q_{20} m ³ /s	Q_{50} m ³ /s	Q_{100} m ³ /s	Q_{200} m ³ /s	Q_{500} m ³ /s	Q_{1000} m ³ /s
Grimevatnet ndf. (1)	11,4	1,35	13.5	17	19	21	25	28	31	34	36
Midtunelva (2)	13,6	1,40	17.0	21	25	27	32	35	39	42	46
Myrdalsvatnet ndf. (3)	13,9	1,55	20.3	25	29	32	38	42	46	50	54
Birkelandsvatnet ndf (4)	17,3	1,55	24.9	31	36	40	47	51	57	62	67
Øvsttunelva (5)	18,7	1,55	27.0	33	39	43	50	55	61	67	73
Nesttunvatnet ovf. (6)	33,0	1,55	48.3	60	70	77	90	99	110	120	130
Sandalselva (7)	6,09	2,05	13.0	16	19	21	24	27	30	32	35
Nesttunvatnet ndf. (8)	41,1	1,55	60.5	75	87	96	113	124	137	151	163
Utløp Nordåsvatnet (9)	44,2	1,55	65.1	81	94	103	122	133	148	162	175

4.4. Vannføringen 14. september og 14. november 2005

Den 13.- 14. september 2005 falt det 156.5 mm nedbør ved målestasjonen Bergen Florida (døgnnedbør), mens største 24 timersnedbør var 165.4 mm. Dette er den største døgnverdien som er registrert ved noen stasjoner i Bergen sentrum siden målingene startet i 1875. Ved Opstveit i Kvinnherad falt det 179,5 mm samme døgn.

Den 14.- 15. november 2005 falt det 88 mm nedbør ved målestasjonen Bergen Florida (døgnnedbør), mens det ved Opstveit i Kvinnherad falt 223 mm som er den nest høyeste døgnsummen som er registrert i Norge.

Ved målestasjon 55.4 Røykenes og 55.5 Dyralsvatn ble vannføringen (momentan/døgnmiddel) den 14. september målt til henholdsvis 132/95 og 18,3/8,8 m³/s, mens den 14. november var tilsvarende verdier henholdsvis 116/69 m³/s og 14,2/8,1 m³/s. Ut fra flomfrekvensanalysene i Tabell 3 og forholdstall mellom kulminasjon- og døgnmiddelverdier, tilsvarer registrert

vannføring 14. september ved Røykenes rundt en 50-100 års flom og ved Dyrdalsvatn en 200 års flom. Den 14. november var vannføringen 10-20 prosent mindre. Ut fra målt vannføring ved stasjonene kan det derfor virke som om estimert vannføring i ved utløpet av Nesttunvassdraget skal være i størrelsesorden en 50-100 års flom den 14. september 2005 og rundt 15 prosent mindre 14. november samme år.

Ved målestasjon 56.1 Sandsli ble det for 14. september og 14. november registrert en kulminasjonsvannføring på hhv 0,13 m³/s og 0,11 m³/s, eller ca. 1600 og 1400 l/s·km². Dette virker kanskje noe lite i forhold til hva som er registrert ved andre nærliggende målestasjoner til samme tid.

4.5 Tilløpsflom og routing gjennom vassdraget

For å få et godt samsvar mellom ulike flomvannføringer nedover i vassdraget, er det gjort et forsøk med en alternativ beregningsmetode. Det er beregnet tilløpsflommer (10- og 200 års flom) for delfeltene til de ni punktene i figur 1. Tilløpsflommene er basert på flomverdier beregnet tidligere i rapporten for punkt 7. Formen på tilløpsflommene er basert på flomforløpet 13.-15. september 2005 ved målestasjon 55.5 Dyrdalsvatn. Forløpet er justert noe for å ha et forholdstall mellom kulminasjonsflom og døgnmiddelflom på 2,05. Tilløpsflommene er videre routet gjennom vassdraget i en hydraulisk modell. For å tilpasse tilløpsflommen til de ulike delfeltene er den skalert med hensyn på areal og spesifikk avrenning mellom delfeltene og delfeltet til punkt 7.

Resultatene fra routingen viste ingen vesentlige endringer i flomverdiene sammenlignet med det som er beregnet på tradisjonelt vis. Beregningene og resultatene fra routingen er derfor ikke utdypet noe mer her.

4.6 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer

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

I NVE-report 5-2011 "Hydrological projections for floods in Norway under a future climate" er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til ventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall. Ut fra avsnitt 8.4 i nevnte rapport, velger vi for Nesttunvassdraget å benytte en faktor på 1,2 (20 % økning) for å anslå klimaendringers effekt på flommer med forskjellige gjentaksintervall.

Tabell 9 gir flomverdier i Nesttunvassdraget med ventet økning i flommer frem mot år 2100.

Tabell 9. Flomverdier i Nesttunvassdraget ved de ulike punktene, kulminasjonsvannføringer med klimapåslag (20 prosent økning).

Punkt i vassdraget	Areal km²	Q_M m³/s	Q₅ m³/s	Q₁₀ m³/s	Q₂₀ m³/s	Q₅₀ m³/s	Q₁₀₀ m³/s	Q₂₀₀ m³/s	Q₅₀₀ m³/s	Q₁₀₀₀ m³/s
Grimevatnet ndf. (1)	11,4	16	20	23	26	30	33	37	40	43
Midtunelva (2)	13,6	20	25	29	33	38	42	46	51	55
Myrdalsvatnet ndf. (3)	13,9	24	30	35	39	45	50	55	61	65
Birkelandsvatnet ndf (4)	17,3	30	37	43	48	56	61	68	75	80
Øvsttunelva (5)	18,7	32	40	47	51	60	66	73	81	87
Nesttunvatnet ovf. (6)	33,0	58	72	84	92	108	119	132	144	156
Sandalselva (7)	6,09	16	19	23	25	29	32	36	39	42
Nesttunvatnet ndf. (8)	41,1	73	90	105	115	136	149	165	181	195
Utløp Nordåsvatnet (9)	44,2	78	97	112	124	146	160	177	194	210

5. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i Nesttunvassdraget kan karakteriseres som relativt sparsomlig. Det foreligger ikke målt vannføring fra vassdraget. Alle beregninger er basert på observasjoner fra målestasjoner i nærliggende vassdrag og regionalt formelverk. Det er relativt små variasjoner i spesifikk middelflom, mens frekvensfaktorene mellom målestasjonene varierer mer.

Det er knyttet opp til ± 25 % usikkerhet ved estimering av spesifikk avrenning fra avrenningskartet. Usikkerheten vil i alminnelighet øke for avtakende feltstørrelse (Beldring *et al.*, 2002). Observerte avrenning ved Røykenes ligger i størrelsesordenen hva avrenningskartet gir.

Det er også 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 målinger 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.

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

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

I tillegg er dataene med fin tidsoppløsning ikke kontrollerte på samme måte som døgndataene og er ikke kompletterte i tilfelle observasjonsbrudd. Det foreligger heller ikke data med fin tidsoppløsning på databasen lenger enn cirka 25 år tilbake. Det er derfor ikke mulig å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Med basis i usikkerhetsmomentene nevnt ovenfor kan datagrunnlaget for beregningene karakteriseres som relativt bra. Flomberegningen klassifiseres derfor i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

Referanser

Beldring, S., Roald, L. A. og Voksø, A. 2002: Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990. NVE Dokument nr. 2 – 2002.

NVE 2002: Avrenningskart for Norge 1961 – 1990, 1:500 000. Hydrologisk avdeling.

NVE 2000: Prosjekthåndbok - Flomsonekartprosjektet. 5.B: Retningslinjer for flomberegninger.

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

Lawrence, Deborah og Hisdal, Hege. 2011: Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE Report no. 5 – 2011.

Hamarsland, Arne Trond. 2010: Klimatilpasning innen NVEs ansvarsområder: strategi 2010 – 2014. NVE Rapport nr. 15 – 2010.

Utgitt i Rapportserien i 2014

- Nr. 1 Analyse av energibruk i forretningsbygg. Formålsdeling. Trender og drivere
- Nr. 2 Det høyspente distribusjonsnett. Innsamling av geografiske og tekniske komponentdata
- Nr. 3 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet: Eirik Førland, Jostein Mamen, Karianne Ødemark, Hanne Heiberg, Steinar Myrabø
- Nr. 4 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7. Skred og flomsikring. Sikringstiltak mot skred og flom
Befaring i Troms og Finnmark høst 2013
- Nr. 5 Kontrollstasjon: NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 6 New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. Tuomo Saloranta
- Nr. 7 EBO Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk
- Nr. 8 Erfaringer fra uværet Hilde, november 2013
- Nr. 9 Erfaringer fra uværet Ivar, desember 2013
- Nr. 10 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 3. kvartal. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 11 Energibruksrapporten 2013
- Nr. 12 Fjernvarmens rolle i energisystemet
- Nr. 13 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer. Delprosjekt. 5.1.5
- Nr. 14 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer
- Nr. 15 Tilleggsrapport: Oppsummering av Energimyndighetens og NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 16 Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z). Thomas Væringstad



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no