

Øst-Telemarkens Brukseierforening

► Flomberegning for dammer i Måna og Tinnelva

Oppdragsnr.: 5190698 Dokumentnr.: 1 Versjon:7 Dato: 2020-12-10



Oppdragsgiver: Øst-Telemarkens Brukseierforening
Oppdragsgivers kontaktperson: Nicolai Østhus
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Trond Rinde
Fagansvarlig: Trond Rinde (NVE-godkjent fagområde IV og V)
Andre nøkkelpersoner: Jon Olav Stranden (fagkontroll, NVE-godkjent fagområde IV)

	2020-12-10	Signatur	<i>Trond Rinde</i>	<i>Jon Olav Stranden</i>	<i>Jon Olav Stranden</i>
7	2020-12-10	Korreksjon etter innspill fra NVE	Trond Rinde		
6	2019-12-18	Korreksjon etter innspill fra Tinfos AS	Trond Rinde		
5	2019-12-17	Korreksjon etter oppdaterte opplysninger om dam Tinfos og Årlifoss	Trond Rinde		
4	2019-12-10	Korreksjon etter tilbakemelding fra Tinfos	Trond Rinde		
3	2019-11-21	Korreksjon etter tilbemeld. fra Hydro, ØTB, Skagerak	Trond Rinde		
2	2019-11-05	Korreksjon etter tilbakemelding fra Hydro Energi	Trond Rinde		J.O.Stranden
1	2019-09-27	Flomberegning i Måna og Tinnåi	Trond Rinde	Jon Olav Stranden	
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammendrag

Det er utført flomberegning for dammene Skarsfoss, Krokan, Mæland og Dale i Månassdraget, og Tinnoset, Årlifoss, Grønnvollfoss, Svelgfoss og Tinfos-I og II i Tinnelva. Beregningene er utført iht. «Retningslinjer for flomberegning» (NVE 2011) og «Tillegg til retningslinjer for flomberegning» (NVE 2016).

Siste flomberegning for dammene i Måna og Tinnelva ble utført av CM-Consulting i 2005 og oppdatert i 2012. Siden 2005 har dammene Skarsfoss, Krokan, Tinnoset og Tinfos-I blitt oppklassifisert. Krokan, Tinnoset og Tinfos-I har derav fått økte gjentagsintervall som dimensjoneringsgrunnlag. Videre har dammene Skarsfoss, Krokan, Mæland, Dale, Svelgfoss og Tinfos-I blitt ombygd. Tinfos-I skal ombygges i nok et byggetrinn og få økt flomavledningskapasitet.

Flomberegningene i denne rapporten er utført ved at tilløp til Måna og Tinnsjøen fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er hentet fra de siste utførte flomberegningene for disse anlegga (2016 for Kalhovd-Gjøyst, 2020 for Møsvatn).

Flomtilsig fra Tinnsjøen lokalfelt er så beregnet vha. flomfrekvensanalyse, og flomtilsigene for de ulike dammenes lokalfelt er skalert ut ifra dette. For hvert damanlegg er så den samlede tilløpsflommen beregnet som summen av utløpshydrogrammene fra ovenforliggende reguleringsmagasin og tilløpshydrogrammet fra lokalt delfelt. Dimensjonerende flom ble funnet til en vårflohendelse av 10 dagers varighet, og det ble brukt et flomforløp med 1 times tidsopløsning.

Med unntak for dam Tinnoset, er det ikke regnet med magasindempning ved dammene. Frøystul og Mår kraftverk er forutsatt å gå, med driftsvannføringer på hhv. 75 m³/s og 27 m³/s. Alle øvrige kraftverk står. Ved alle dammene er det tatt hensyn til oppstuvning fra gangbruer og underkant av åpne luker og til overtopping av dammene.

Resultatet av flomberegningene i bruddgrensetilstanden ble som vist i tabellen nedenfor. 25% tilstopping er lagt til grunn for de flomløp der dette er vurdert som mulig.

Dam	Kl.	Q _{dim}	Tilslig [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Tilstopping	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]	Forrige flom-beregning.	Økning ift. forrige
Skarsfoss	4	Q ₁₀₀₀	509	509	Nei	858.56	857.10	1.46	859.15	-0.59	858.55	0.01
Krokan	1	Q ₅₀₀	476	476	Nei	696.53	692.50	4.03	692.50	4.03	696.35	0.18
Mæland	1	Q ₅₀₀	548	548	Ja (25% i rullelukene)	284.90	282.60	2.30	283.60	1.30	284.34	0.56
Dale	1	Q ₅₀₀	600	600	Nei	236.39	236.00	0.39	238.00	-1.61	236.44	-0.05
Tinnsjøen			1739	1377		194.09	191.62	2.47	196.07	-1.98	194.04	0.05
Tinnoset	3	Q ₁₀₀₀	1377	1377	Nei	193.06	191.62	1.44	196.07	-3.01	193.16	-0.10
Årlifoss	2	Q ₁₀₀₀	1423	1423	Nei	162.76	161.60	1.16	163.50	-0.74	161.69	1.07
Grønnvollfoss ¹⁾	2	Q ₁₀₀₀	1439	1439	Nei	144.50	144.50	0.00	146.40	-1.90	143.84	0.66
Svelgfoss ²⁾	3	Q ₁₀₀₀	1499	1499	Nei	117.83	116.40	1.43	117.85	-0.02	117.85	-0.02
Tinfos-I ³⁾	2	Q ₁₀₀₀	1502	1502	Nei	48.66	47.00	1.66	49.00	-0.34	48.06	0.60
Tinfos-II ³⁾	1	Q ₅₀₀	1402	1402	Nei	48.27	47.00	1.27	47.60	0.67	47.83	0.44
Tinfos-I ⁴⁾	2	Q ₁₀₀₀	1502	1502	Ja (25% i segmentlukene)	49.49	47.00	2.49	49.00	0.49	48.06	1.43
Tinfos-II ⁴⁾	1	Q ₅₀₀	1402	1402	Ja (25% i segmentlukene)	49.34	47.00	2.34	47.60	1.74	47.83	1.51

1) Maksimal flomavledningskapasitet gir her vannstand 143.94, men pga. at lukene reguleres vil vannstanden holdes på 144,50.

2) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. Q1000 ga da vannstand 117,85 mot tidligere 119,19.

3) Tinfos-I fikk ved ombygging i 2015 noe redusert flomavledningskapasitet. Q1000 ga da v. st 48.06 mot tidligere 47.96 før 2015 og 47.72 før oppklassifisering i 2006.

4) Vannstander beregnet iht. ny Q1000 og kapasitetskurve etter byggetrinn 1 i 2015, med 25% tilstopping i segmentlukene. Vannstandene fra forrige flomberegning regnet ikke med tilstopping.

Beregningene er moderat sensitive for økning i tilløpsflommenes størrelse ved Skarsfoss og Grønnvollfoss. Vannstandsendingene blir her 20-25 cm ved 10 % endring i tilløpsflom. For Svelgfoss er beregningen sterkt sensitiv for økning i tilløpsflom. 10 % økning gir her 1,06 meter økt vannstandsstigning fordi flomlukene dykkes. Ved de øvrige dammene er beregningene nokså sensitive, med vannstandsendinger på 45-70 cm ved 10% økning i tilløpsflom, og -40 – - 90 cm ved 10% reduksjon i tilløpsflom.

Med unntak for dam Svelgfoss er beregningene nokså lite sensitive for reduksjon i flomløpenes C-faktorer, med vannstandsøkninger fra 4 til 29 cm ved 5 % reduksjon. For Svelgfoss blir imidlertid økningen på hele 0,99 meter fordi flomlukene dykkes. 5 % økning i C-faktor gir moderat reduksjon (fra 2 til 26 cm) i vannstandstigning for alle dammene unntatt Tinfos-II. For Tinfos-II gir 5 % reduksjon i C-faktor 29 cm høyere vannstand mens 5 % økning gir 57 cm lavere vannstand fordi man da unngår at lukene dykkes.

I ulykkesgrensetilstanden er det valgt den situasjon som gir høyeste vannstandsstigning av kontrollflommene Q_{PMF} eller $1,5 \times Q_{dim}$, og dimensjonerende flom i bruddgrensetilstanden kombinert med lukesvikt. Dette ga flomverdier som vist under.

Dam	Kl.	Q _{dim}	Totaltilsigt til dam [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Dimensjonerende situasjon	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]	Forrige flom-beregning	økning ift. forrige
Skarsfoss	4	Q _{PMF}	1428	1428	Q _{PMF}	860.56	857.10	3.46	859.15	1.41	859.57	0.99
Krokan	1	1,5 x Q ₅₀₀	690	690	1,5 x Q ₅₀₀	697.66	692.50	5.16	692.50	5.16	697.06	0.60
Mæland	1	1,5 x Q ₅₀₀	797	797	1,5 x Q ₅₀₀	286.06	282.60	3.46	283.60	2.46	284.85	1.21
Dale	1	1,5 x Q ₅₀₀	862	862	1,5 x Q ₅₀₀	238.12	236.00	2.12	238.00	0.12	237.83	0.29
Tinnsjøen			3165	2564		197.56	191.62	5.94	196.07	1.49	195.78	1.78
Tinnoset	3	Q _{PMF}	2564	2564	Q _{PMF}	196.22	191.62	4.6	196.07	0.15	194.67	1.55
Årlifoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2311	2311	1,5 x Q ₁₀₀₀	166.51	161.60	4.91	163.50	3.01	163.43	3.08
Grønnvollfoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2336	2336	1,5 x Q ₁₀₀₀	145.50	144.50	1	146.40	-0.90	144.86	0.64
Svelgfoss ¹⁾	3	Q _{PMF}	2795	2795	Q _{PMF}	120.91	116.40	4.51	117.85	3.06	121.50	-0.59
Tinfos-I ²⁾	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2430	2430	1,5 x Q ₁₀₀₀	50.09	47.00	3.09	49.00	1.09	49.72	0.37
Tinfos-II	1	1,5 x Q ₅₀₀	2222	2222	1,5 x Q ₅₀₀	49.86	47.00	2.86	47.60	2.26	49.64	0.22

1) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. Q₁₀₀₀ ga da vannstand 121,50 mot tidligere 122,07.

2) Tinfos-I fikk ved ombygging i 2015 redusert kapasitet i ulykkesgrensetilstand. 1,5 x Q₁₀₀₀ ga da v.st. 49,72 mot tidligere 48,93 før 2015.

Datagrunnlaget som beregningene er basert på er vurdert til å ligge i kvalitetsklasse 2, dvs. «brukbart hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget». Flomstørrelsene er derfor ikke tillagt noe usikkerhetspåslag, men det er utført sensitivitetsanalyse der innløpsflommenes størrelse er variert med +/- 10 % og flomløpenes C-faktor med +/- 5 %.

Iht. NVEs anbefaling for dette området er det ikke nødvendig å legge til noe klimapåslag på flomstørrelsene.

Flomverdiene beregnet i denne rapporten er til slutt vurdert opp mot tidligere flomberegninger som er utført for dammene.

Ift. de sist utførte flomberegningene kommer de dimensjonerende flomstørrelsene i bruddgrensetilstanden i denne rapporten ut noe lavere for dammene i Måna (86 % - 96 %), og noe høyere for dammene i Tinnelva (101 % -107 %). Foruten at datagrunnlaget nå er oppgradert med verdier fra 2005 – 2018, skyldes endringene at det i siste flomberegning for Møsvatn er lagt til grunn et annerledes utløpsregime enn det som ble brukt i de foregående flomberegningene.

Med unntak for dam Krokan og dam Svelgfoss, kommer flomstørrelsene i ulykkesgrensetilstanden alle ut høyere i denne rapporten enn i de sist utførte flomberegningene (107 % - 136 %). For dammen med størst økning, Tinnoset, er hovedårsaken at denne nå har blitt oppklassifisert og fått Q_{PMF} i stedet for $1,5 \times Q_{1000}$

som kontrollflom. For øvrig skyldes økningene at utløpsflommen fra Møsvatn nå er noe større enn i forrige beregning. Dette er fordi tilløpsflommene nå er større og fordi vårfloer nå er regnet som dimensjonerende flomhendelse og uten forhåndsnedtappet startmagasin, samt at begge flomtunnelene nå er regnet med i flomavledningskapasiteten ved PMF. I forrige flomberegning ble kun den ene flomtunnelen regnet med. Økningen ut av Møsvatn gjør at tilløpsflommen til Tinnsjøen også blir større og får et mer langvarig forløp.

Lukene på Grønnvollfoss reguleres hele tiden slik at vannstanden holdes på HRV (normalvannstanden). Ved en dimensjonerende flom er flomavledningskapasiteten (ved HRV) større enn tilsiget. DFV for dammen settes derfor lik HRV.

Mht. til vannstandsstigning i bruddgrensetilstanden så har dammene Skarsfoss, Dale, Tinnoset, Grønnvollfoss og Svelgfoss ubetydelige endringer ift. de forrige flomberegninger. Dammene Krokan, og Mæland og spesielt Årlifoss og Tinfos (spesielt situasjonen med tilstopping), får imidlertid klare økninger. For Krokan skyldes økningen at kapasitetskurven for denne dammen nå er endret ift. til sist, mens Mæland har fått økning pga. at det nå er regnet med tilstopping av flomløpene noe som ikke ble gjort forrige gang. For Årlifoss skyldes den relativt store økningen at kapasitetskurven nå er vesentlig endret siden sist, og at tilløpsflommen er litt større enn i siste beregning. For Tinfos er hovedårsaken at det nå regnes med dykking av lukene på en lavere vannstand enn i tidligere beregninger.

Størst vannstandsøkning oppstår likevel for dammene Tinfos-I og Tinfos-II i situasjonen beregnet for 25 % lukesvikt. Dette gir hhv. 1,43 og 1,51 meter høyere vannstander enn i forrige flomberegning. Dette er vannstander som vil gi overtopping av både de nylig rehabiliterte og de gamle damkomponentene, og som ganske sikkert ikke kan aksepteres. Begge dammene er under rehabilitering og det er i skrivende stund ikke avklart hva slags løsning for flomavledning som vil bli valgt i byggetrinn 2. Det er derfor usikkert om det er riktig å legge tilstopping av flomløpene til grunn for dammene i Tinfos. Spørsmålet må avklares med NVE, sammen med planene som er under utarbeidelse for å øke flomavledningskapasiteten. Dersom det ikke regnes med tilstopping i Tinfos-I blir vannstandsforskjellene mindre ift. beregning som ble gjort etter 1. byggetrinn 2015, men likevel ikke ubetydelige hhv. 60 cm for Tinfos-I og 44 cm for Tinfos-II.

I ulykkesgrensetilstanden får alle dammene unntatt Svelgfoss økt vannstandsstigning ift. forrige flomberegning. Årsaken er enten at flomstørrelsene i ulykkesgrensetilstanden nå har økt og/eller at kapasitetskurvene nå viser mindre kapasitet ift. kurvene som tidligere ble brukt. Spesielt stor økning får dam Årlifoss. For dam Svelgfoss er det imidlertid motsatt. Her er påregnelig maksimal flom nå mindre enn i forrige beregning samtidig som dammen har fått økt flomavledningskapasitet.

► Innhold

1	Bakgrunn	8
2	Innledning	9
3	Nedbørfelt – Magasin	10
4	Damanlegg	12
4.1	Skarsfoss (damnr. 4784)	13
4.2	Krokan (damnr. 3562)	16
4.3	Mæland (damnr. 2030)	18
4.4	Dale (damnr. 1216)	21
4.5	Tinnoset (damnr. 3816)	24
4.6	Årlifoss (damnr. 3092)	28
4.7	Grønnvollfoss (damnr. 1504)	31
4.8	Svelgfoss (damnr. 2716)	35
4.9	Tinfos-I (damnr. 3503)	38
4.10	Tinfos-II (damnr. 4021)	42
5	Tidligere flomberegninger	44
6	Datagrunnlag - metodikk	47
7	Tidligere observerte flommer	50
8	Flomskapende sesong	51
8.1	Iht. flomregioner	51
8.2	Iht. vannføringsdata	52
9	Flomberegning for Tinnsjøen lokalfelt	54
9.1	Regionale flomformler	54
9.2	Flomfrekvensanalyse	54
9.3	Nedbør-avløpsmodell	56
9.4	Q1000 simulert med HBV-modell	61
9.5	Oppsummering og endelig valg av 1000-års tilløpsflom	65
9.6	Flommer av lengre varighet	66
9.7	Kritisk varighet	66
9.8	Flomforløp	66
9.9	Påregnelig maksimal flom	67
10	Samlet innløpsflom til Tinnsjøen	69
10.1	Utløpsflommer fra Møsvatn og Kalhovd-Gøyst med og uten driftstapping	69
10.2	Samlet 1000-års tilløpsflom til Tinnsjøen	70
10.3	Samlet påregnelig maksimal tilløpsflom til Tinnsjøen	71
10.4	Vurdering av flomberegningen og endelig valg av flomstørrelser	74

10.4.1	Vurdering av Q_{1000}	74
10.4.2	Vurdering av Q_{PMF}	75
10.4.3	Endelig valgte flomstørrelser for Tinnsjøen totalfelt	76
10.5	Klimakorreksjon	77
10.6	Datakvalitet – usikkerhetstillegg - sensitivitetsanalyse	77
11	Flomruting og vannstandsstigninger	78
11.1	Ruting gjennom Tinnsjøen	78
11.2	Dimensjonerende flommer for dammene i Måna og Tinnelva	80
11.3	Påregnelig maksimale flommer for dammene i Måna og Tinnelva	82
11.4	Tilstopping	82
11.5	Lukesvikt	84
11.6	Sensitivitetsanalyse	86
11.7	Flommer med andre gjentaksintervall	87
11.8	Oppsummering	89
12	Referanser	91
	Vedlegg 1 – Damtegninger	92
	Vedlegg 2 – Flomavledningskapasiteter	136
	Vedlegg 3 – Flomfrekvensanalyser	162
	Vedlegg 4 – Flomberegninger med PQRUT	173
	Vedlegg 5 - PMF for Tinnsjøen totalfelt beregnet med HBV.	177
	Vedlegg 6 – Ruting av 1000-års flommer gjennom Tinnsjøen.	185
	Vedlegg 7 – Kapasitetsberegning for ny dam Dale.	203
	Vedlegg 8 – Flomavlednings- og tappekurver Rjukanstrengen.	234
	Vedlegg 9 – Vannføringskurve for dam Tinnoset og Tinnsjøen.	280
	Vedlegg 10 – Avløpskurve dam Grønvollfoss.	290
	Vedlegg 11 – Flomavledningskapasitet dam Svelgfoss.	323
	Vedlegg 12 – Overløpskoeffisienter Svelgfoss.	349
	Vedlegg 13 – Brev til NVE med kapasitetsberegning for dam Tinfos etter byggetrinn 1.	360
	Vedlegg 14 – Flomavledningskapasitet dam Årlifoss.	395
	Vedlegg 15 – Vannstander ved dykking av gjennomløp.	409
	Vedlegg 16 – Erklæringer om gyldighet av tegninger m.m.	422

1 Bakgrunn

I fb. med revurdering av anleggene i østre del av Skiensvassdraget har Øst-Telemarkens Brukseierforening (ØTB) ønsket å få utført nye flomberegninger for damanleggene i Måna og Tinnelva. Norconsult, ved Dr.Ing. Trond Rinde, ble på denne bakgrunn engasjert for å utføre flomberegningene for disse dammene.

2 Innledning

På oppdrag fra Øst-Telemarkens Brukseierforening (ØTB) er det utført flomberegning for dammene i Måna og Tinnelva. Dette gjelder dammene Skarsfoss, Krokan, Mæland og Dale i Måna, og Tinnoset, Årlifoss, Grønnvollfoss, Svelgfoss og Tinfos i Tinnelva. Beregningene er foretatt iht. «Retningslinjer for flomberegninger» (NVE, 2011) og «Tillegg til retningslinjer for flomberegninger» (NVE, 2016).

Flomberegningene er utført etter følgende metode:

Tilløp til Måna og Tinnsjøen fra de ovenforliggende reguleringsmagasina Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er hentet fra de siste utførte flomberegninger for disse anlegga, med Frøystul og Mår kraftverk i drift.

Bekkeinntakene på driftstunnelene til Vemork, Såheim, Moflåt og Mæl kraftverk (Rjukanstrengen) samt til Mår kraftverk, er regnet som stengt og tilsigsfeltet til disse regnet med i Tinnsjøen lokalfelt.

Flomtilsig fra Tinnsjøen lokalfelt er beregnet vha. regionale flomformler, flomfrekvensanalyse og nedbør-avløpsmodell.

Flomtilsig fra de ulike dammenes lokalfelt nedenfor Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er skalert fra tilsiget beregnet for Tinnsjøen lokalfelt.

For hvert damanlegg er tilløpsflommen så beregnet som summen av utløpsflommen fra ovenforliggende reguleringsmagasin og flomtilsig fra lokale delfelt nedenfor disse.

Ved beregning for Tinnsjøen er det lagt til grunn at tilløpet fra Tinnsjøen lokalfelt går direkte til Tinnsjøen uten tidsforsinkelse, mens utløpshydrogrammene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er gitt en tidsforsinkelse på 8 timer, tilsvarende vandringstiden ned til Tinnsjøen (ca. 30 km) ved en bølgehastighet på 1,0 m/s.

Samlet innløpshydrogram til Tinnsjøen er så beregnet ved å overlagre tilløpshydrogrammet fra Tinnsjøen lokalfelt med de forsinkede utløpshydrogrammene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst.

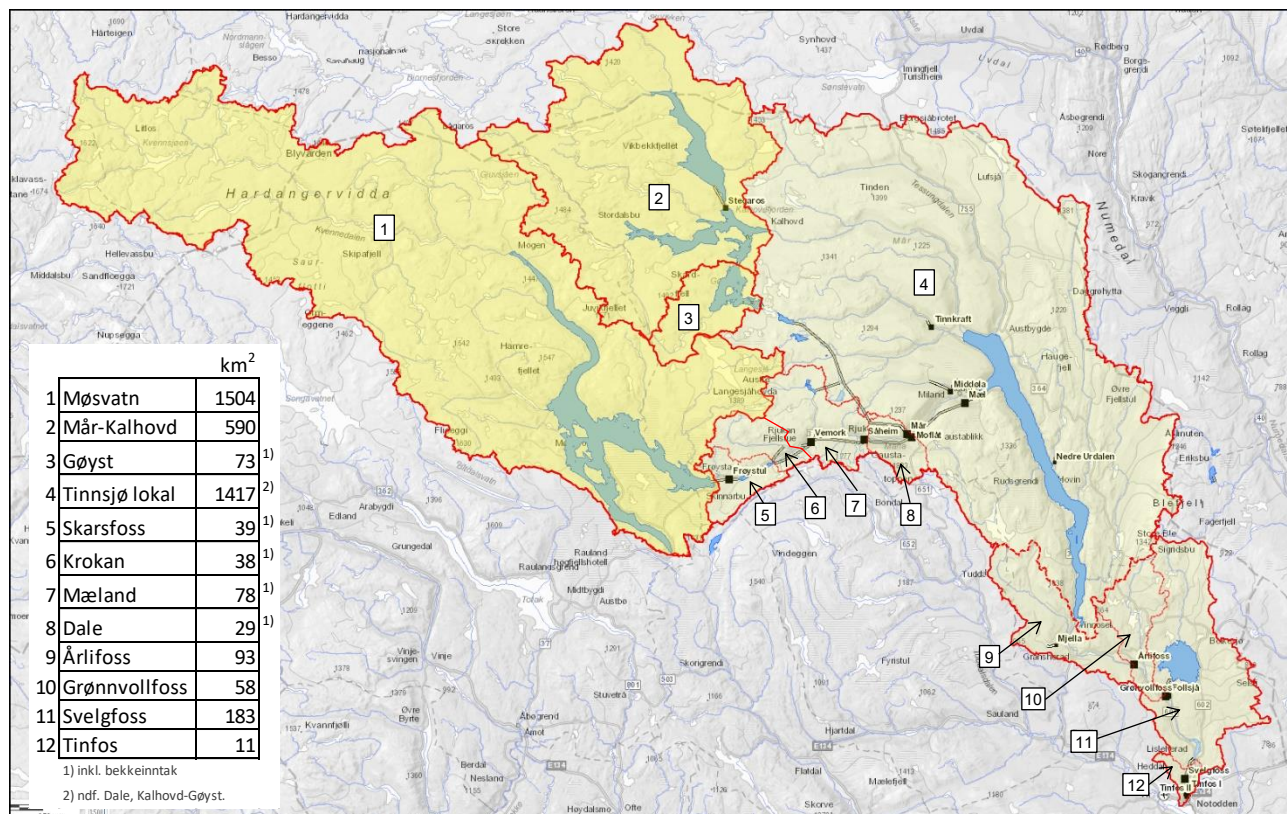
Flomtilsig til dammene nedenfor Tinnsjøen er beregnet som utløpsflom fra Tinnsjøen pluss tilsig fra de lokale delfelt nedenfor.

Foruten Tinnsjøen, er det ikke regnet magasindempning ved noen av de øvrige dammene. Dvs. at utløpsflom er regnet lik innløpsflom. For hver dam er tilhørende kraftverk regnet å stå.

Flomverdiene beregnet i denne rapporten er til slutt vurdert opp mot tidligere flomberegninger som er utført for dammene.

3 Nedbørfelt – Magasin

Elvestrekningene Måna og Tinnelva utgjør østre del av Skiensvassdraget nedenfor Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst. Totalt nedbørfelt ned til utløpet i Heddalsvatn er på 4114 km², mens lokalfelt nedenfor Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er 1947 km² (kilde: Nevina). Figur 1 viser geografisk plassering til delfelta i vassdraget, mens Tabell 1 oppsummerer feltarealene.



Figur 1 Nedbørfelt til østre del av Skiensvassdraget ovf. Heddalsvatn (Nevina).

Tabell 1 Feltarealer.

Felt	Måna		Kalhovd-Gøyst		Tinnelva	
	Lokalfelt km ²	Totalfelt km ²	Lokalfelt km ²	Totalfelt km ²	Lokalfelt km ²	Totalfelt km ²
Møsvatn	1504	1504				
dam Skarsfoss	39 ¹⁾	1543				
dam Krokan	38 ¹⁾	1581				
dam Mæland	78 ¹⁾	1659				
dam Dale	29 ¹⁾	1688				
Mårvatn			274	274		
Kalhovdfjorden-Gøyst			389 ¹⁾	663		
Tinnsjøen					1417 ²⁾	3768
dam Årlifoss					93	3861
dam Grønnvollfoss					58	3919
dam Svelgfoss					183	4102
dam Tinfos					11	4113
Heddalsvatn					1	4114
Lokalfelt ndf. Møsvatn-Kalhovd/Gøyst					1947	

1) inkl. delfelt til bekkeinntak, 2) lokalfelt ndf. Dale, Kalhovd-Gøyst.

kilde: NEVINA

4 Damanlegg

Flomberegningen i denne rapporten omfatter fire dammer i Måna og seks i Tinnelva. Damanleggene er listet i Tabell 2, med tilhørende damklasser og krav til dimensjonerende flomstørrelser.

Tabell 2 Dammer, konsekvensklasser og krav til dimensjonerende flomstørrelser.

Dam	Klasse	Dimensjonerende flom Bruddgrensetilstand	Kontrollflom Ulykkesgrensetilstand	Vedtaks dato
Skarsfoss	4	Q_{1000}	Q_{PMF}	16.02.2010
Krokan	1	Q_{500}	$1,5 \times Q_{500}$	03.12.2010
Mæland	1	Q_{500}	$1,5 \times Q_{500}$	13.12.2010
Dale	1	Q_{500}	$1,5 \times Q_{500}$	13.12.2010
Tinnoset	3	Q_{1000}	Q_{PMF}	07.02.2017
Årlifoss	2	Q_{1000}	$1,5 \times Q_{1000}$ el. Q_{PMF}	25.01.2017
Grønnvollfoss	2	Q_{1000}	$1,5 \times Q_{1000}$ el. Q_{PMF}	25.01.2017
Svelgfoss	3	Q_{1000}	Q_{PMF}	26.05.2010
Tinfos-I	2	Q_{1000}	$1,5 \times Q_{1000}$ el. Q_{PMF}	16.05.2006
Tinfos-II	1	Q_{500}	$1,5 \times Q_{500}$	

I flomberegningene er alle kapasitetskurver sammenlignet med kapasitetskurvene fra tidligere beregninger. Konservante antagelser som ble lagt til grunn ved beregningene av tidligere kurver er tatt inn også i denne rapporten. I tillegg er det for noen luker/gjennomløp utført nye beregninger av C-faktorene iht. NVE's retningslinjer for flomløp (Ref. 4). Der tidligere beregninger ikke har regnet med dykking av gjennomløp er dette nå tatt hensyn til. Vannstandene ved dykking av gjennomløp er nå beregnet hydraulisk alle steder der dette er ansett som relevant. Dette er vist i Vedlegg 15. Damtegninger, lukeåpninger og dimensjonering av lenser er videre bekreftet av dameierne (se Vedlegg 16), som har kontrollmålt og/eller verifisert mot relevant dokumentasjon så langt det har latt seg gjøre.

4.1 Skarsfoss (damnr. 4784)

Dam Skarsfoss (Figur 2) utgjør inntaket til Vemork kraftverk og er plassert i konsekvensklasse 4. Dammen, som ble bygd i 2014, er en ca. 18 meter høy massiv gravitasjonsdam i betong, fundamentert på fjell. Dammen har et 168 meter langt fritt overløp med et tappeløp og tilhørende luke og lukehus på midten. Det frie overløpet har terskel på kote 857,1 og er delt i 10 gjennomløp med en samlet åpning på 152,8 meter. Over dammen går en 4,1 meter bred kjørebri. Brubanen har underkant på kote 858,25, overkant på kote 859,15, og et ca. 1,2 meter høyt rekkverk (Figur 3). Som kronehøyde for dammen er regnet toppen av kjørebri og vederlagene på hver side, dvs. kote 859,15. Landkaret på nordsiden strekker seg 43 meter oppover fra damaksen og har terskel på 859,15. Landkaret på sørsiden har lengde ca. 30 meter og samme terskelhøyde. Avstanden fra landkarene og inn til høyere terreng er på nordsiden ca. 15 meter og på sørsiden ca. 20 meter. Strømningsbreddene på sidene er dermed smalere enn overløpslengdene, men siden landkarsmurene har en overhøyde på ca. 1,0 meter ift. terrenget på innsiden vil likevel overløpslengdene være avgjørende for vannstandstigning ovenfor dammen hvis landkarene overtoppes. Damtegninger er vist i Vedlegg 1.



Figur 2 Dam Skarsfoss.



Figur 3 Dam Skarsfoss.

Oppstrøms kant av brubanen ligger rett over flomoverløpsterskelen, og lysåpningen opp til bruas underkant er dermed 1,25 meter. Teoretisk, siden vannspeilet krummes nedover over terskelen, skal oppstrøms vannstand da kunne ha en overhøyde på 1,5 x lysåpningen før vannstanden ved terskelen når opp i brubanen. Dette gjelder imidlertid ved hydrostatisk trykk i strømningsstverrsnittet. Pga. at overløpsterskelen er krummet i strømningsretningen vil strømningshastigheten gi sentripetalkrefter som gjør at det ikke blir hydrostatisk trykk og at vannstanden vil ta oppi brubanen ved mindre overhøyde. I Vedlegg 15 er dykningshøyden beregnet til 1,44 x lysåpningen. Legges 1,44 til grunn vil brubanen dykkes og forårsake oppstuvning ved vannstander over 858,90 ($H_{\text{terskel}} + 1,44 \times H_{\text{lysåpning}}$). Sjølve brubanen regnes å bli overtoppet ved vannstander over 859,47.

Flomavledningskapasiteten til flomoverløpet finnes dermed av ligningene:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{overløp}} &= C (b - n \text{ koeff } H) H^{1,5} && \text{v.st. } < 858,90 \\
 Q_{\text{overløp}} &= k a (b - n \text{ koeff } H) (2 g (H - a/2))^{0,5} && 858,90 < \text{v.st.} < 859,15 \\
 Q_{\text{overløp}} &= k a (b - n \text{ koeff } H) (2 g (H - a/2))^{0,5} + C' b' H^{1,5} && \text{v.st. } > 859,15
 \end{aligned}$$

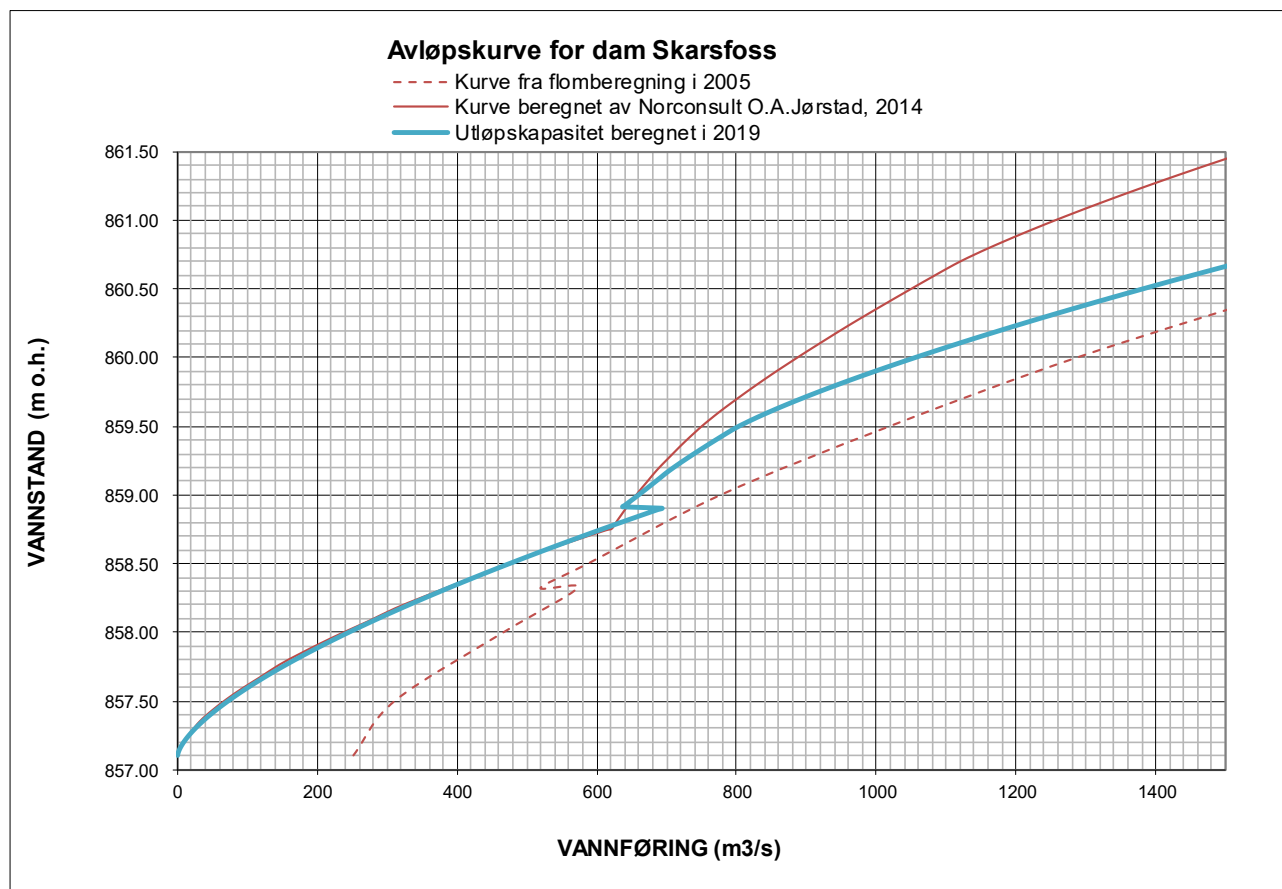
Ved vannstand over 859,15 vil vann også strømme over landkarene på sidene. Denne strømmingen er beregnet vha. av overløpsligninga, med overløpskoeffisient $C' = 1,55$. På begge sider er avstanden inn til høyere terreng mindre enn selve overløpslengden til landkarene men siden nivåene mellom landkarsmurene og terrenget innenfor ligger godt lavere enn toppen av landkarsmurene, regnes likevel overløpsmurene som begrensende for strømmingen på sidene, i det minste for de overløpshøyder det her kan bli snakk om.

$$Q_{\text{landkar}} = C' B' H^{1,5} \quad \text{v.st. } > 859,15$$

Med parameterverdier som vist i Tabell 3 gir dette kapasitetskurve som vist i Figur 4 (tabellarisk i Vedlegg 2). Kurven avviker vesentlig fra den som ble brukt for den gamle dammen i 2005, og også noe fra den som har vært regnet som gjeldende kurve etter 2014 (Vedlegg 8). Kurven fra 2014 tar imidlertid ikke hensyn til strømning over landkarene og antar dessuten 66% blokkering pga. rekkverket ved overtopping av brubane. Kurven for avledningskapasitet i denne rapporten er derfor høyere på de høyeste vannstandene enn kurven fra 2014.

Tabell 3 Koeffisienter for flomoverløp Skarsfoss.

	Flomoverløp under brubane	Overløp over brubane	Terreng Venstre	Terreng Høyre	
C =	1.9	1.30	1.55	1.55	$m^{1/2}/s$
terskel =	857.10	859.47	859.15	859.15	m o.h.
b(bredde) =	152.80	159.60	43.00	40.00	m
sidekontraksjon: $b' = b - n \times \text{coeff}$					
n = ant. hjørner =	20				
side kontraksjonskoeff. =	0.05				
tilstopping =	0				%
Dykket ved vannstand =	858.9				m o.h.
a (lysåpning til brubane) =	1.25				m
kontraksjonskoeff ved dykking =	0.7				
HRV	857.10				m o.h.
Kronehøyde	859.15				m o.h.



Figur 4 Flomavledningskapasitet dam Skarsfoss.

4.2 Krokan (damnr. 3562)

Dam Krokan er en 34 meter lang massivdam i betong, rett oppstrøms Rjukanfossen (Figur 5). Dammen fungerer som inntak til Såheim kraftverk i situasjoner der Vemork kraftverk står. Dammen har et fritt overløp med terskel på kote 692,5 over hele lengden, og største damhøyde er ca. 6 meter. Det er ikke gangbane over dammen, og kronehøyden regnes her som høyden på overløpsterskelen. Når inntaket ikke er i bruk kan vann slippes forbi dammen som overløp eller via en omløpstunnel med luke $b \times h = 2,2 \times 2,5$ meter.

Dam Krokan ble oppklassifisert fra klasse 0 til klasse 1 i 2010, og deretter bygd ny i 2012.

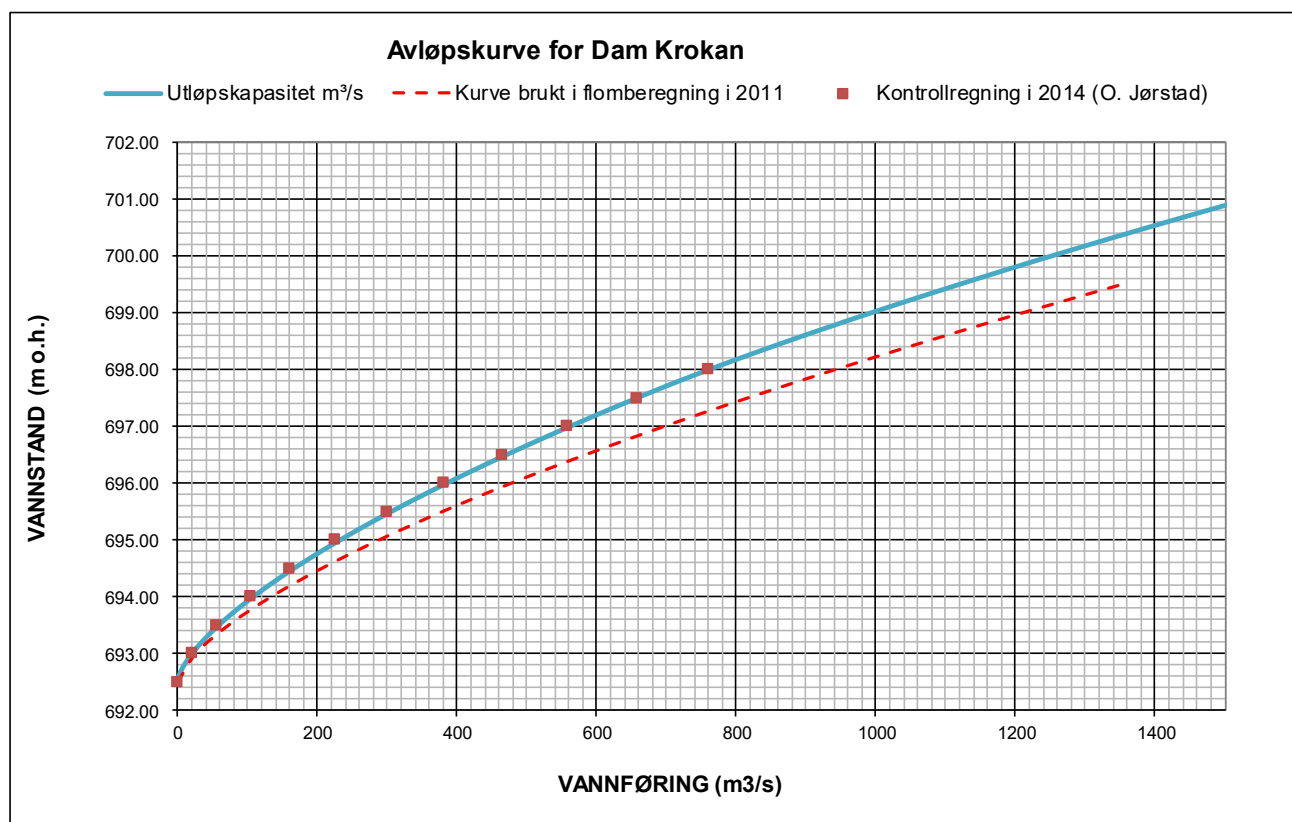


Figur 5 Dam Krokan.

Kapasitetskurve for nye dam Krokan ble beregnet av Norconsult i 2014, med overløpsparametere som vist i Tabell 4. Overløp i terrenget på høyre side inntreffer ved vannstander over 697,7. På høyre side stiger terrenget bratt innenfor landfestet og overløp her er sett bort ifra. Den lave overløpskoeffisienten for selve damkrona skyldes at dammen er konstruert med for slak helning på nedstrøms side ift. standard overløp. Dette ble ikke hensyntatt i 2011, da overløpskoeffisienten ble satt til 2,15, tilsvarende som for standard overløpsutforming. Kapasitetskurven er vist i Figur 6 og tabellarisk i Vedlegg 2.

Tabell 4 Koeffisienter for flomoverløp Krokan.

C =	1.73	m ^{1/2} /s
terskel =	692.50	m o.h.
b(bredde) =	34.00	m
HRV	692.50	m o.h.
Kronhøyde	692.50	m o.h.



Figur 6 Flomavledningskapasitet dam Krokan.

4.3 Mæland (damnr. 2030)

Dam Mæland (Figur 7) danner inntak til Moflåt kraftverk og er en betongdam i klasse 1 som ble rehabilitert i 2014. Fra venstre mot høyre er dammen sammensatt av en ca. 20 meter lang overløpsmur som leder inn i en overløpskanal. Muren har terskel på kote 282,60 (HRV). Deretter en 5 meter bred rulleluke med terskel på kote 280,50 og åpningshøyde på 2,47 meter, en 15 meter bred segmentluke med terskel på kote 280,00 og åpningshøyde på 3,45 meter, og ytterligere tre 5 meter brede rulleluker med terskel på kote 280,00 og åpningshøyder på hhv. 2,98, 3,25 og 3,28 meter. Lengst mot høyre har dammen fem seksjoner med gjenstøpte bjelkestengsler, med overkant på kote 282,80, og til sist en inntakskanal inn til Moflåt kraftverk. Segmentluka og rullelukene brukes til manøvrering under flom. Over hele damanlegget, unntatt overløpsmuren, går en gangbane med underkant på kote 283,40, overkant på 283,60, og rekkverk opp til kote 284,80. Forbi segmentluka har gangbanen en 1,2 meter høy brystning til kote 284,80. Kronehøyden er tatt som 283,60, tilsvarende som overkanten av gangbanen uten rekkverk og brystning. Damtegninger er vist i Vedlegg 1.

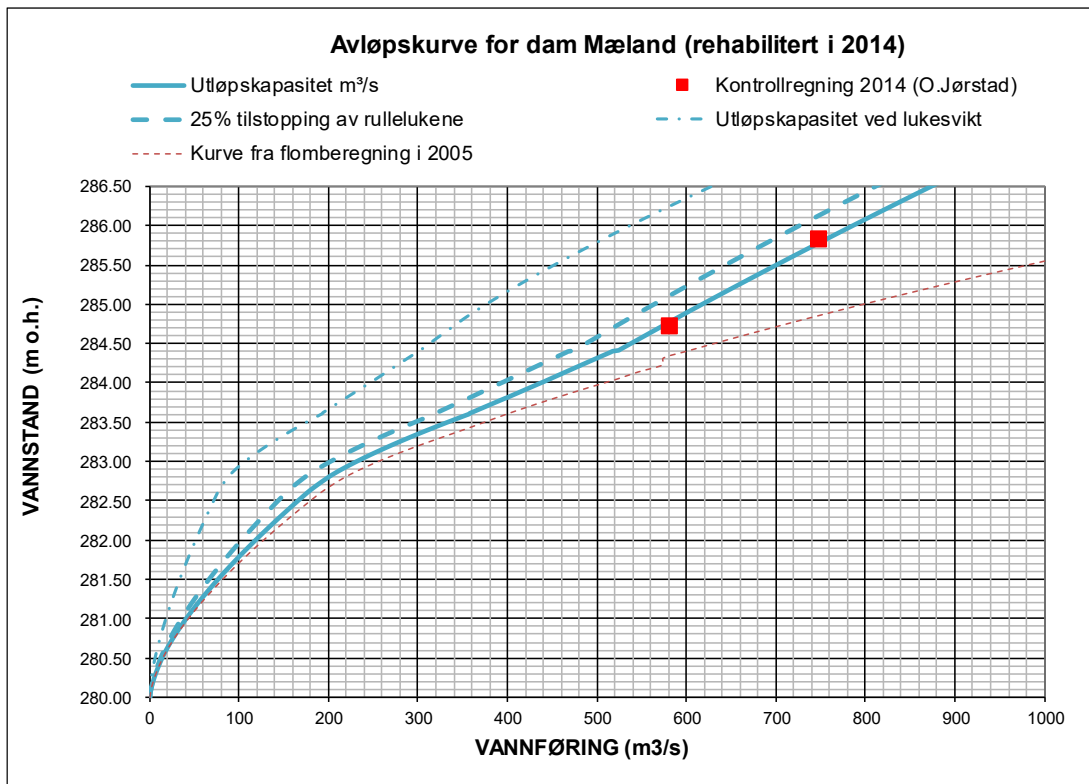
Flomavledningskapasiteten til dam Mæland er svært avhengig av nedstrøms vannstand og kan dermed ikke beregnes ut ifra oppstrøms vannstand vha. overløpsformler. Nøyaktig beregning krever detaljert hydraulisk modellering, men slike beregninger foreligger ikke. I flomberegningene fra 2005 og 2011 ble ikke nedstrøms vannstand hensyntatt. Kapasitetskurvene i disse beregningene angir derfor for høye avledningskapasiteter. NVE utførte imidlertid i 2007 flomsonekartlegging for Månassdraget der strekningen forbi dam Mæland ble modellert med det hydrauliske programmet HEC-RAS. På bakgrunn av denne modelleringen ble i 2014 vannstander på dammen håndregnet for to flomstørrelser med hensyntagen til nedstrøms vannstand. Nedstrøms vannstand ble da interpolert ut ifra NVEs flomsonekartlegging og korreksjonsfaktorer for nedstrøms vannstand fastsatt som gitt i Ref. 4. Konservative forutsetninger ble lagt til grunn for usikkerhetene i beregningen (Ref. 6, Vedlegg 8). I denne rapporten er det beregnet en flomavledningskapasitetskurve som er tilpasset disse to punktene. Tabell 5 viser flomløpsparameterne som ble brukt og Figur 8 den tilpassede kurven, sammen med punktene som ble beregnet i 2014. Kurven som ble benyttet i 2005 er vist til sammenligning. Den nye kurven antas å være konservativ, men en nøyaktigere kurve kan kun fastsettes ved vha. detaljerte hydrauliske beregninger. Kurvene er vist tabellarisk i Vedlegg 2. Det er regnet med at tilstopping kan skje i rullelukene, men ikke i segmentluka. Kapasitetskurven for en situasjon med 25 % tilstopping av rullelukene er vist i figuren.

Tabell 5 Koeffisienter for flomavledningskapasitet Mæland.

Flomavledningsorgan	terskel	bredde	høyde	dykket ved	C-faktor
Rulleluke 1	280.51	4.96	2.47	283.80	1.30
Rulleluke 2	280.00	4.95	2.98	284.00	1.30
Rulleluke 3	280.00	4.95	3.28	284.40	1.30
Rulleluke 4	280.00	4.95	3.25	284.40	1.30
Segmentluke	280.00	15.00	3.37	284.40	1.30
Overløpskanal	282.60	20.00			1.90
Over gjenstøpte bj.stengsel	282.80	25.00			1.90
Strømning over brubanen	284.80	5.00			1.30
HRV (ref. tegninger)	282.60				
Damkrone	283.60				



Figur 7 Dam Mæland.



Figur 8 Flomavledningskapasitet dam Mæland (Ref. 5). Kurven for lukesvikt gjelder ved svikt i én av rullelukene og i segmentluka (se avsnitt 11.5).

4.4 Dale (damnr. 1216)

Dam Dale er en betongdam i klasse 1 som også ble fornyet i 2014. Dammen utgjør inntak til Mæl kraftverk. Fra venstre til høyre består dammen av: en ca. 45 meter lang fyllingsdam med krone på kote 238, en 2 meter bred venstre vange med krone på 238, en 19 meter bred segmentluke med terskel på kote 231 og åpningshøyde 6,33 meter, et 4 meter bredt midtparti med krone på kote 238 og topp lukehus på kote 241, en 19 meter bred segmentluke med terskel på kote 231 og åpningshøyde 6,33 meter, en 2 meter bred høyre vange med krone på 238, og en inntakskanal inn til Mæl kraftverk. Damtegninger er vist i Vedlegg 1.

Forbi segmentlukene har dammen en gangbane med underkant på kote 238 og ca. 1,4 meter høy brystning. Underkant på segmentlukene i åpen stilling er på kote 237,33. Segmentlukene vil dermed få oppstuvende effekt noe før gangbanen. Grunnet segmentlukenes plassering i forkant av innsnevringen og det beskjedne fallet på elva forbi damanlegget, regnes vannstanden ved lukene og ved gangbanen som lik.

Også ved dam Dale er flomavledningskapasiteten avhengig av nedstrøms vannstand, slik at nøyaktig fastsettelse av kapasitetskurve krever detaljert hydraulisk-beregning. Norconsult utførte slik beregning med det hydrauliske beregningsprogrammet HEC-RAS i 2012, med utgangspunkt i elveløpsgeometrien ovenfor og nedenfor dammen, samt geometrien som var planlagt for den nye dammen (Ref. 6, og Vedlegg 7). Den resulterende kapasitetskurven for dammen er vist i Figur 10 og tabellarisk i Vedlegg 2. Kurven ble verifisert i 2014 (Vedlegg 8), da dammen var ferdig bygget. Denne kurven er lagt til grunn i denne rapporten. Parametere for lukene og flomtersklene vises i Tabell 6.

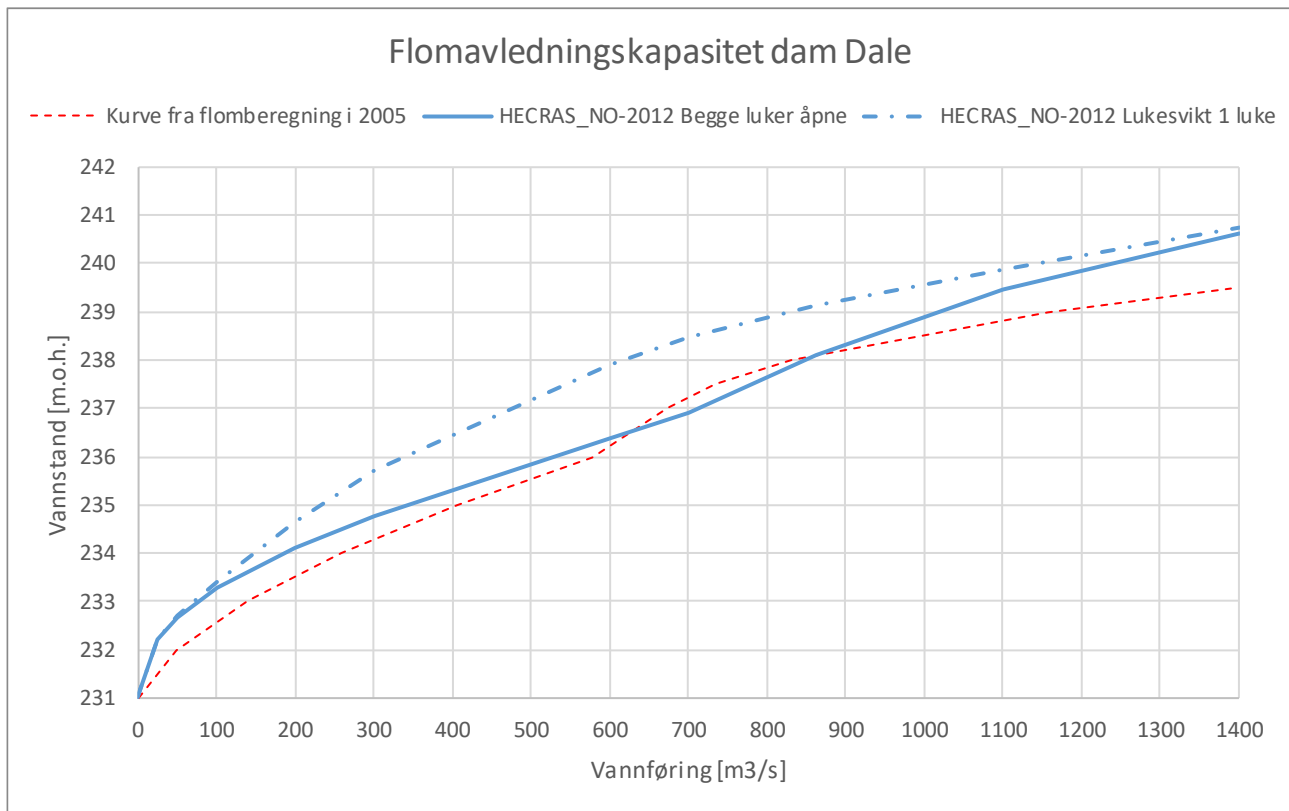
Flomstigningen er beregnet ut ifra en effektiv bredde på 2 x 19 meter. Inntaket til Mæl kraftverk er forutsatt stengt. Da lukebreddene er hele 19 meter er det ikke regnet med tilstopping.

Tabell 6 Flomløpsdata Dale.

Flomavledningsorgan	terskel	bredde	høyde	dykket ved
Fyllingsdam	238.0	45.0		
venstre vange	238.0	2.0		
Segmentluke	231.0	19.0	6.33	237.33
midtparti	241.0	4.0		
Segmentluke	231.0	19.0	6.33	237.33
høyre vange	238.0	2.0		
HRV	236.0			
Damkrone	238.0			



Figur 9 Dam Dale.



Figur 10 Flomavledningskapasitet dam Dale. Kurven for lukesvikt gjelder ved svikt i én av segmentlukene (se avsnitt 11.5).

4.5 Tinnoset (damnr. 3816)

Dam Tinnoset er en ca. 89 meter lang og ca. 9 meter høy betongdam i klasse 3 som ble nybygd i 2004. Dammen er fundamentert på løsmasser og består av fire 16,4 meter brede segmentluker, hvorav tre har terskel på kote 186,17 og åpningshøyde på 5,45 meter, og én har terskel på kote 187,62 og åpningshøyde 4,00 meter. Over hele damanlegget går en kjørebri med underkant på kote 194,92, overkant på kote 196,07 og brystning opp til kote 196,87. Dammens kronehøyde er tatt som overkanten på kjørebri på kote 196,07. Terrenget på høyre side stiger fra dammen, mens det på venstre side faller. Terrengets terskel defineres på begge sider av adkomstveien som går til den gamle jernbanestasjonen. Damtegninger er vist i Vedlegg 1.

Tinnsjøen har LRV og HRV på hhv. 187,62 og 191,62 og et oppdemt reguleringsvolum på 204,1 mill.m³. Magasinivolum mellom HRV og HRV + 2,0 meter er tidligere beregnet til 104,6 mill.m³ (Grøner, 1997). Magasincurve for Tinnsjøen er vist i Figur 15.

De nederste ca. 100 meter ovenfor dam Tinnoset utgjør et elveløp. I flomsituasjoner vil en derfor ha falltap fra magasinet og ned til dammen. Siden fallet gjennom dammen til elva nedenfor er lite, vil en også ha oppstuvning nedenfra på høye vannføringer, og på svært høye vannstander vil en i tillegg kunne få overløp over veien og langs jernbanen til side for dammen. Norconsult beregnet i 2006 kapasitetskurver som inkluderer disse forholda vha. en hydraulisk modell (Ref. 7, Vedlegg 9). Disse kurvene er lagt til grunn i denne rapporten. Kurvene er vist i Figur 13 og tabellarisk i Vedlegg 2.

Da lukebreddene er hele 16.4 meter og dammen har lense oppstrøms er det ikke regnet med tilstopping.

Tabell 7 Flomluker Tinnoset.

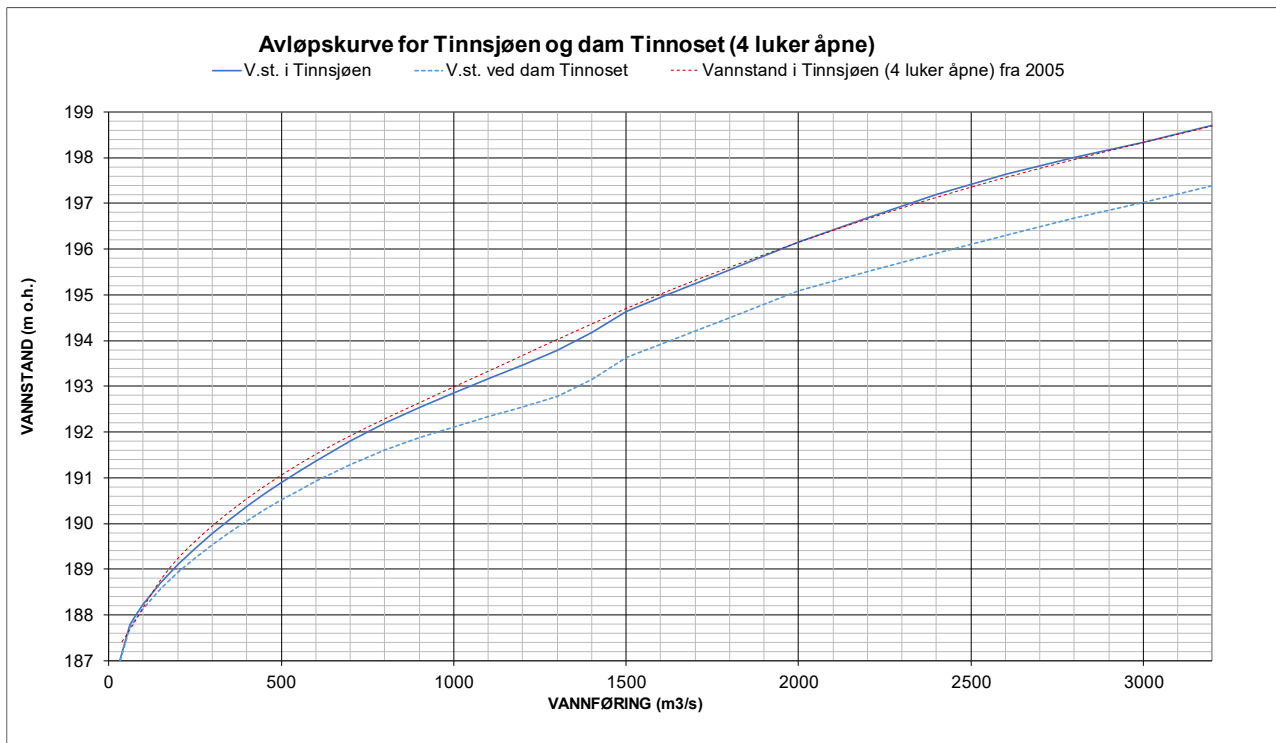
Flomavledningsorgan	terskel	bredde	åpningshøyde	dykket ved
Segmentluke 1-3	186.17	16.40	5.45	191.62
Segmentluke 4	187.62	16.40	4.00	191.62
HRV	191.62			
Damkrone	196.07			



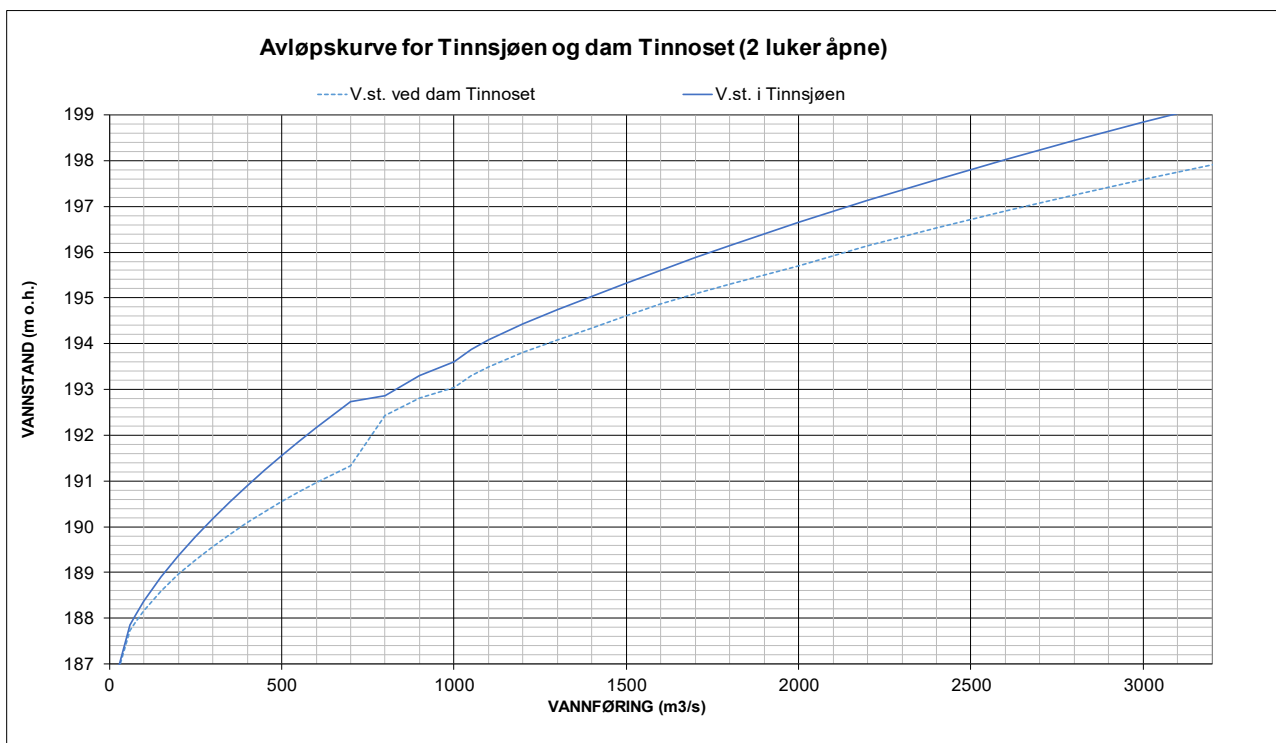
Figur 11 Dam Tinnoset ovf.



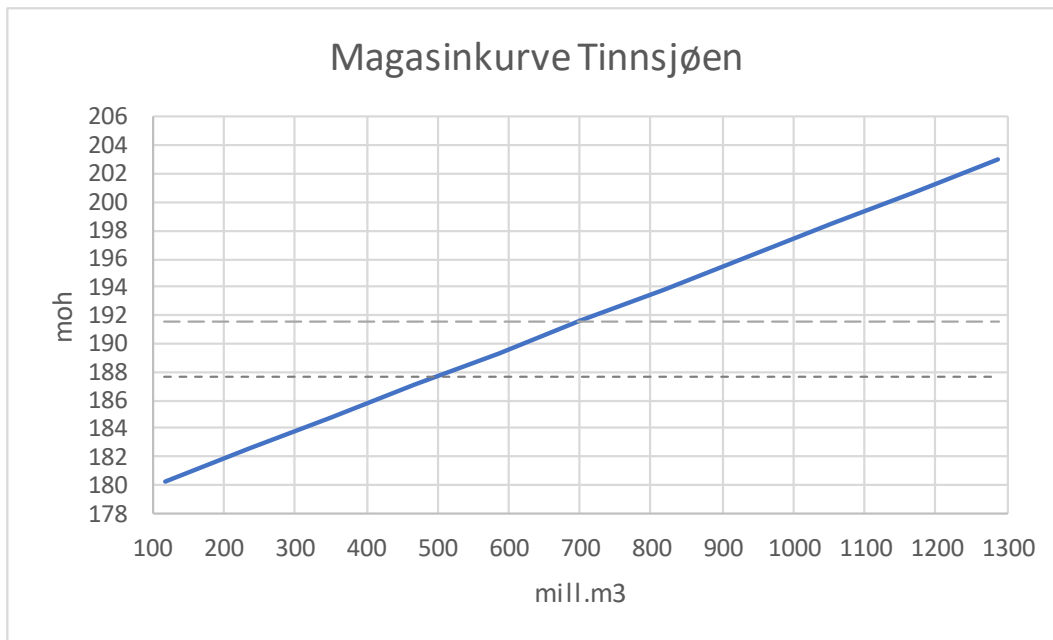
Figur 12 Dam Tinnoset ndf.



Figur 13 Flomavledningskapasitet dam Tinnoset (Ref. 5)



Figur 14 Flomavledningskapasitet dam Tinnoset med lukesvikt i to luker (Ref. 5)



Figur 15 Magasinkurve Tinnsjøen.

4.6 Årlifoss (damnr. 3092)

Dam Årlifoss er en betongdam i klasse 2 som sist ble oppgradert i 2003. HRV er på tegningene oppgitt til 161,60, mens 161,50 brukes under operativ drift. Fra venstre til høyre består damanlegget av et 25 meter langt landfeste¹ med krone på kote 164,5, et ca. 20 meter bredt lukehus med en $b \times h = 4,1 \times 5,2$ meter reguleringsluke med terskel på kote 156,40, en 14 meter bred segmentluke med terskel på kote 153,60 og åpningshøyde 8,00 meter, en ca. 20 meter lang betongdam med krone på kote 164,90, en 14,0 meter bred² og 3,3 meter høy klappeluke med terskel på kote 159,90, en ca. 5 meter lang betongdam med krone på kote 164,90, en 16 meter bred segmentluke med terskel på kote 154,6 og åpningshøyde 7,00 meter, og en ca. 20 meter lang betongdam med krone (brystning) fallende fra kote 164,60 til 163,50 inn mot høyre landfeste. Landfestet går så over i en ca. 12 meter lang fyllingsdam/adkomstveg som faller av til kote 163,00 innenfor dammen. I tillegg til reguleringsluka ligger i venstre landfeste av dammen også to $3,25 \times 6,00$ meter buntappeluker. Disse regnes som stengt i flomberegningen. Damtegninger er vist i Vedlegg 1.

Over hele dammen går en gangbane på kote 164,10 med en 0,8 m høy brystning. Gangbanen har underkant på kote 163,35 ved segmentluke 1 og på kote 163,20 ved segmentluke 2 og klappeluken. Begge segmentlukene har underkant i fullt åpen stilling på kote 161,60 (HRV). Ved hydrostatiske forhold og gjennomløpets overkant rett over overløpsterskelen vil da oppstuvning (dykking) inntre ved en overhøyde i magasinet på 1,5 ganger lysåpningen, dvs. ved vannstand ca. 165,6 meter for luke 1, ca. 165,1 meter for luke 2, og vannstand ca. 164,9 meter for klappeluka. Pga. at gjennomløpene overkant ligger noe oppstrøms overløpstersklene og at krumningen på flomtersklene gjør at sentripetalkrefter løfter vannspeilet, vil imidlertid lukene dykkes tidligere. I Vedlegg 15 er overhøydefaktorene beregnet til hhv. 1,23 for segmentluke 1, og til 1,20 for segmentluke 2, og til 1,07 for klappeluka, slik at oppstuvningene inntre ved vannstand 163,44 for segmentluke 1 og klappeluka, og ved 163,03 for segmentluke 2. Disse høydene er lagt til grunn ved beregningen av kapasitetskurven for dammen.

Kapasitetskurven for Årlifosdammen som ble benyttet i flomberegningen fra 2005 vurderes som feil. Det ble her brukt overløpskoeffisienter som for tilnærmet ideelle strømningsforhold ($C = 2,15$) for begge segmentlukene. Dette anses ikke korrekt, da terskelprofilene er forholdsvis brede og vanddybden oppstrøms alle lukene er liten. Foran venstre segmentluke er det støpt et betongdekk over en gammel fangdam ca. 10 meter ut på kote 151,7 og som ender i en buet betongterskel på kote 152,10. Foran klappeluka og høyre segmentluke er det også grunt bunnivå, med fjellnivået liggende på ca. kote 154,1. En mer begrunnet kapasitetskurve for den ombygde dammen var beregnet av Norconsult i 2001 (Ref. 8, Vedlegg 14), der det ble gjort skjønsmessige vurderinger av C-verdier og kontraksjonskoeffisienter for hver luke ut ifra geometri og skjevstrømningsforhold. Beregningen tok dog ikke hensyn til utstøpningen foran segmentluke-1 eller dykking av lukene/brubanen. I denne rapporten er det derfor konstruert en ny kapasitetskurve der det er brukt overløpskoeffisienter som hensyntar de grunne partiene foran lukene (se beregning i Vedlegg 2), og der det er regnet med dykking av lukene. Da lukeløpene vil ha en del tilstrømning fra sidene og avrundingen av pilarene ikke er ideell er det også tatt hensyn til sidekontraksjoner med kontraksjonskoeffisienter satt tilsvarende som i rapporten fra 2001, og innkorting av klappelukebredden² tilsvarende som i rapporten fra 2006. Siden terrenget på sidene er bratt, er det ikke regnet med overløp utenfor selve damanlegget.

Parameterne som er benyttet i den nye kapasitetskurven er vist i Tabell 8. Beregningene av C-koeffisientene er vist i Vedlegg 2. Kapasitetskurven er vist i Figur 17, og tabellarisk i Vedlegg 2. Siden dammen har lense oppstrøms er det ikke regnet med tilstopping.

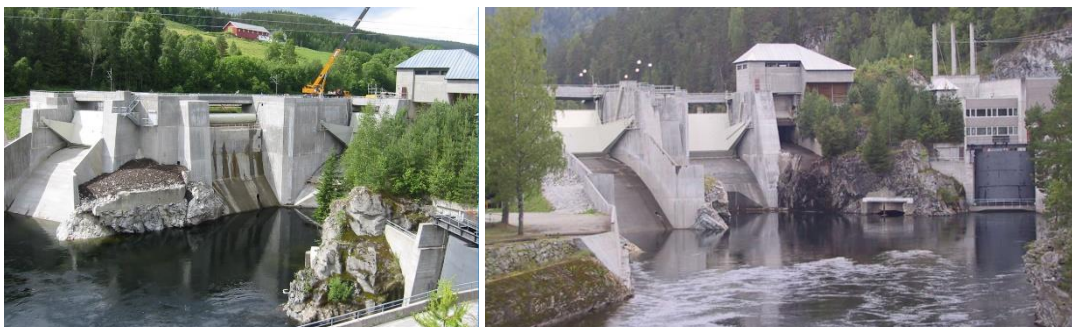
¹ En fjellknaus stenger her for evt. overløp, som derfor kun kan passere langs atkomstveien i en bredde på anslagsvis 10 m.

² Effektiv bredde ble ved beregningen fra 2006 (Ref. 8, Vedlegg 14) redusert med 4,5 meter og C-faktor satt ned til 1,80 pga. skjevstrømning som følge av utløp gjennom nedstrøms segmentluke. Denne forutsetningen er også lagt til grunn her.

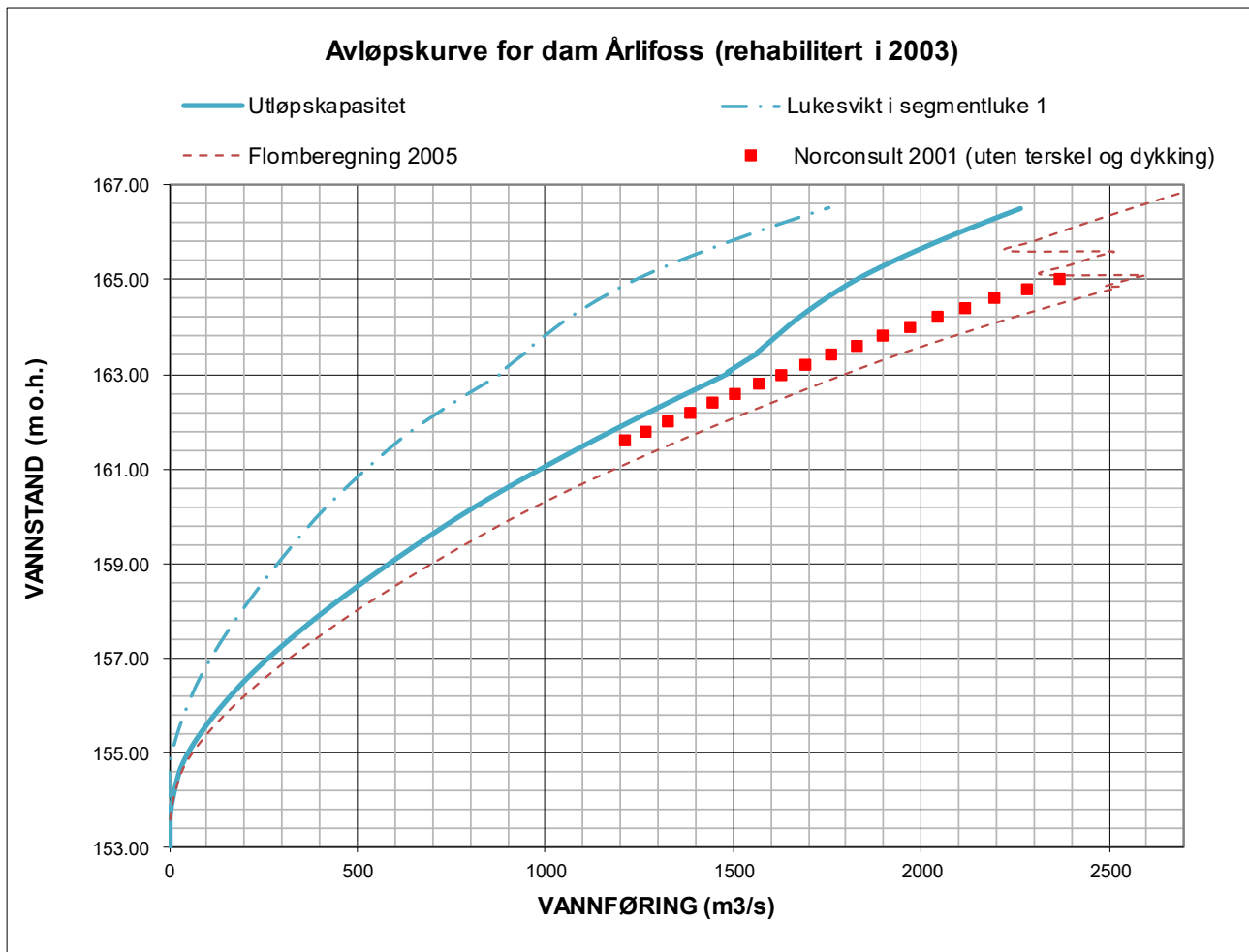
Avløpsforholda ved Årlifoss er kompliserte. Nøyaktig beregning av avledningskapasiteten vil derfor kreve detaljert hydraulisk modellering eller modellforsøk. Ved beregningen av avløpskurven i denne rapporten er det imidlertid lagt konservative antagelser til grunn ved usikkerhetene slik at avledningskapasiteten antas å være underestimert snarere enn overestimert.

Tabell 8 Flomløpsparametere Årlifoss.

Flomavledningsorgan	terskel	bredd	høyde	begrensning	dykket ved	C-faktor	Kontraksjonskoeff.
Segmentluke 1	153.6	14.0	8.00	underkant luke	163.6	1.80	0.08
Segmentluke 2	154.6	16.0	7.00	underkant luke	163.35	1.85	0.10
Klappelu	159.9	9.0	3.30	brubane	164.03	1.60	
Damkroner dvs. topp brystnin	164.9	25.0	3.25			1.80	
Høyre landfeste u/brystning	163.3	12.0	3.37			1.40	
Høyre landfeste m/brystning	164.1	20.0	2.60			1.80	
Venstre landfeste	164.5	10.0	10.00			1.40	
Reguleringsluke	156.4	4.1	5.20			1.85	0.05
HRV (ref. tegninger)	161.6						
Damkrone	164.1						



Figur 16 Dam Årlifoss.



Figur 17 Flomavledningskapasitet dam Årlifoss. Kurven for lukesvikt gjelder svikt i segmentluke med størst kapasitet (se avsnitt 11.5).

4.7 Grønnvollfoss (damnr. 1504)

Dam Grønnvollfoss er en betongdam i klasse 2 som sist ble oppgradert i 1997. HRV = 144,5. Fra venstre mot høyre består dammen av et ca. 20 meter langt landfeste med høyde 145,90 og 0,80 meter brystning til kote 146,70 (1 i Figur 18)³. Deretter en 55 meter lang betongdam med krone og brystning på samme nivå og med ni 5,00 x 4,50 (b x h) meter glideluker med terskel på 140,20 (2 i Figur 18). Deretter følger et lukehus med to 3,75 meter brede og 4,50 meter høye dykkede tappeluker (3 i Figur 18), en 13,00 meter bred segmentluke med terskel på 139,80 og åpningshøyde 5,00 meter (4 i Figur 18). Så en 20,00 meter bred valseluke med terskel på 139,50 (5 i Figur 18), og et lukehus med en 5,00 meter bred og 4,30 m høy reguleringsluke med terskel på 136,00 (6 i Figur 18), fulgt av to 7,00 meter brede fallluker med terskel 142,7⁴ (7 i Figur 18), og et lukehus med to 5,00 meter brede og 6,30 meter høye dykkede inntaksluker (8 i Figur 18), og tilslutt et overgangsparti med brystning på kote 147,20 (9 i Figur 18) over til en 175 meter lang fyllingsdam inn mot landfestet på høyre side (10 i Figur 18). Fyllingsdammen har en sentral tetningsvegg av betong på kote 146,0, mens selve damtoppen varierer fra kote 146,0 på de innerste ca. 15 meter, 146,1 de neste ca. 15 meter, og så stigende til 146,50 etter ytterligere 100 meter og deretter samme høyde innenfor dette⁵. I tillegg har dammen bunnappeløp og fire tidligere nåleløp som nå er gjenstøpte betongvegger. Høydene er tatt fra tegningene av dammen, fra 1995-96, og er angitt i et lokalt høydesystem.

Over hele dammen går en brubane med en 0,80 meter høy brystning. Fra venstre landfeste og inn til fallukene er brubanen horisontal med topp på kote 145,90 og brystning på kote 146,70. Over glidelukene er tykkelsen på brubanen 0,40 meter slik at bunnen på brubanen blir liggende på kote 145,50 (tegning 058). Over segmentluka er tykkelsen 0,80 meter og bunnen på kote 145,10 (tegning 056), mens over valseluka er tykkelsen 1,00 meter og bunnen på kote 144,90 (tegning 055). Over fallukene er tykkelsen på brubanen 0,60 meter, men brubanen stiger her fra kote 145,90 til 146,40 fra venstre mot høyre, slik at underkanten varierer fra kote 145,30 til 145,80 (tegning 054). Etter fallukene er brubanen igjen horisontal med overkant på 146,40 og brystning på 147,20 inn til fyllingsdammen. Kote 146,40, tilsvarende som for overkanten av brubanen, er tatt som kronehøyde for dammen.

For glidelukene er største åpningshøyde 4,5 meter. Underkant av lukene kommer dermed lavere (144,70) enn underkant av brubanen (145,50) og topp av strømningsåpningen blir på kote 144,70. For segmentluka, med åpningshøyde 5,0 meter, kommer også lukekanten lavere (144,80) enn underkant av brubanen (145,10), men siden brubanen her ligger hele 4,0 meter oppstrøms luketerskelen viser beregningene i Vedlegg 15 at dette punktet blir dykket tidligere enn lukekanten ved høy vannføring. Topp av strømningsåpningen ved segmentluka blir derfor kote 145,10 og lysåpningen i kritisk snitt 5,30 meter. Det samme gjelder for valseluka og fallukene hvor også brubanen definerer toppen av strømningsåpningene, hhv. med nivå 144,9 over valseluka og 145,5 over fallukene (middel høyde av skrånende brubane). Lysåpningene her blir da hhv. 5,40 og 2,80 meter.

Teoretisk skal vannstanden over luketersklene være 2/3 av høyden opp til vannstanden i magasinet, og lukene derfor tåle en vannstandsoverhøyde ovenfor dammen på 1,5 ganger lysåpningen før det oppstår dykking og oppstuvning. Med denne forutsetningen oppstår det oppstuvning ved vannstandene 148,15 ved glidelukene, 147,30 ved segmentluka, 147,60 ved valseluka, og 146,70 ved fallukene. 1,5 ganger lysåpningen forutsetter imidlertid at strømningsåpningenes overkant ligger rett over terskelpunktet og at det er hydrostatisk trykkfordeling over strømningsstverrsnittet. Sentripetalakselerasjon pga. overløpenes krumning samt det at strømningsåpningenes overkant ligger oppstrøms terskelpunktene gjør derfor at vannstanden blir høyere enn den teoretiske og at lukene og brubanen derfor dykkes ved mindre overhøyder enn 1,5 ganger lysåpningen. I Vedlegg 15 er overhøydefaktorene beregnet til hhv. 1,25 for glidelukene, 1,10 for

³ En fisketrapp går her gjennom dammen og til undervannet ca. 150 meter nedenfor.

⁴ Overløpsterskelen ligger på 142,5, men når fallukene legges ned vil selve lukebladet bygge opp til 142,7.

⁵ Målinger utørt av Skagerak i november 2019.

segmentluka, 1,08 for valseluka og 1,13 for fallukene. Reguleringsluken regnes alltid som dykket ved flom. Oppstuvning inntreffer da ved vannstandene 145,82 ved glidelukene, 145,65 ved segmentluka, 145,36 ved valseluka, og 145,86 ved fallukene. Disse høydene er lagt til grunn i flomberegningen. Pilarene på sidene av lukene er rundet, og det regnes ikke med sidekontraksjon.

Tappelukene og inntakslukene er ikke regnet med i flomavledningskapasiteten. Siden terrenget faller forholdsvis markert mot dammen på begge sider er det heller ikke regnet med overløp i terrenget utenfor sjølve damanlegget, unntagen evt. overtopping av fyllingsdammen.

Beskrivelsene er basert på tegninger fra Berdal Strømme datert 16.12.96 med prosjektnummer 25684 og tegningsnummer 051-058 (Vedlegg 1). Avløpskurve for Grønnvollfoss ble beregnet av Norconsult i 2017 (Ref. 9 og Vedlegg 10). Kurven, som ble beregnet ut ifra betingelsene vist i Tabell 9, er vist i Figur 20 og tabellarisk i Vedlegg 2. Siden dammen har lense oppstrøms er det ikke regnet med tilstopping i lukene.

Tabell 9 Flomløpsparametere Grønnvollfoss.

Flomavledningsorgan	terskel	bredde	høyde	begrensning	dykket ved	C-faktor
Glideluker (9 stk)	140.2	45.0	4.50	underkant lukeblad	145.82	2.07
Segmentluka	139.8	13.0	5.30	gangbane	145.65	1.85
Valseluka	139.5	20.0	5.40	gangbane	145.36	2.08
Falluker (2 stk)	142.7	14.0	2.80	gangbane	145.86	1.65
Reguleringsluka	136.0	5.0	4.30	underkant lukeblad	141.38	1.70
over brubanen med topp 146.70	146.7	34.0				1.40
over brubanen med topp 147.20	147.2	28.0				1.40
Fyllingsdam kote 146	146.0	15.0				1.40
Fyllingsdam kote 146.1	146.1	15.0				1.40
Fyllingsdam kote 146.1 - 146.5	146.3	100.0				1.40
Fyllingsdam kote 146.5	146.5	40.0				1.40
HRV (ref. tegninger)	144.5					
Damkrone	146.4					



Figur 18 Dam Grønnvollfoss.



Grønvollfoss – oversikt



Grønvollfoss – ovenfra

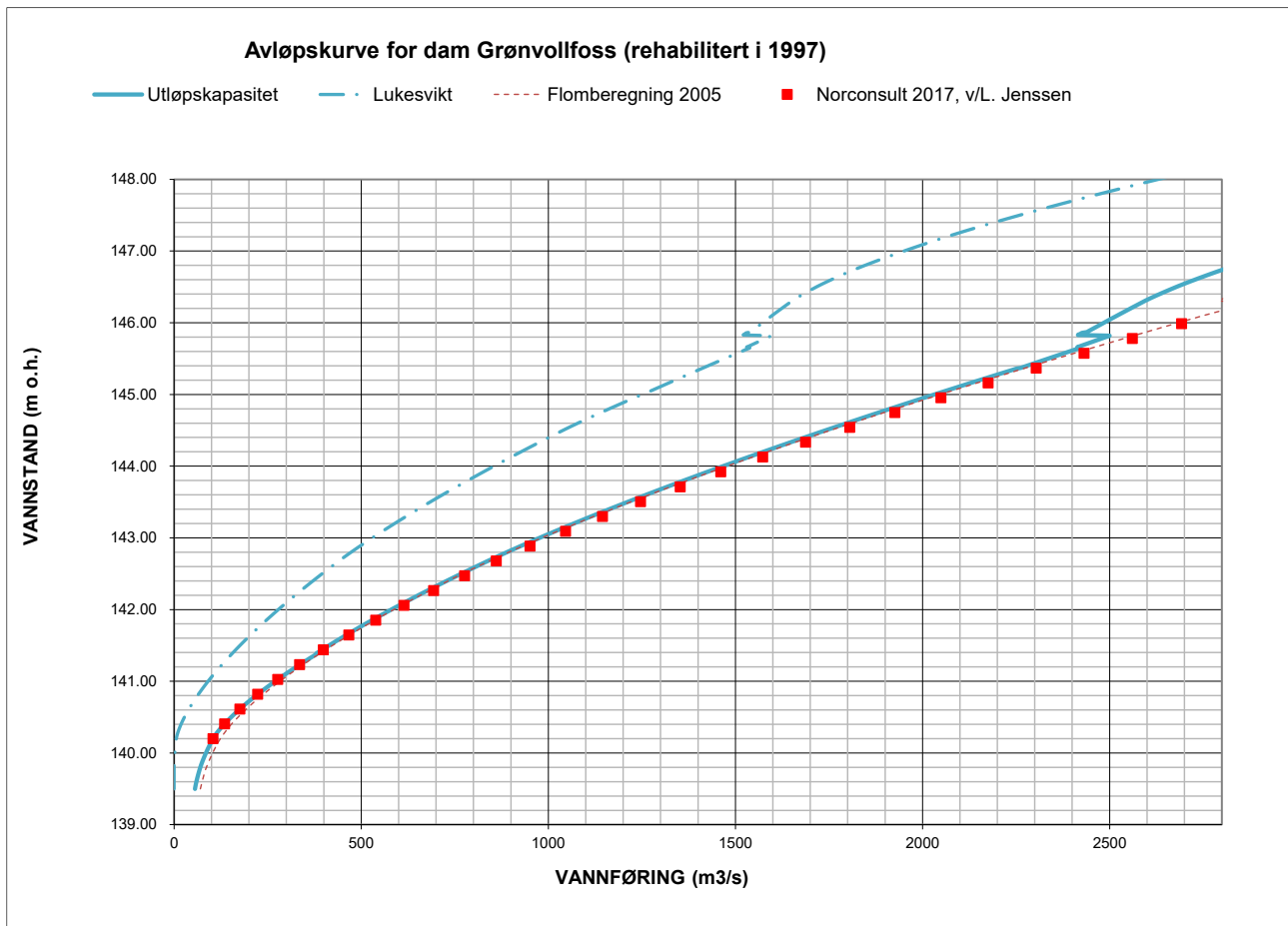


Grønvollfoss dam - høyre del nedenfra



Grønvollfoss dam – venstre del nedenfra

Figur 19 Dam Grønvollfoss.



Figur 20 Flomavledningskapasitet dam Grønvollfoss. Kurven for lukesvikt gjelder for svikt i én glideluke, i valseluka og i reguleringsluka (se avsnitt 11.5).

4.8 Svelgfoss (damnr. 2716)

Dam Svelgfoss er en massiv betongdam i klasse 3, som ble oppgradert i 2013 (Figur 21). Fra venstre til høyre består dammen først av et ca. 13 meter langt landfeste med terskel på kote 118,15, en 20,0 meter bred segmentluke med terskel på kote 109,60 og åpningshøyde 5.1 meter, et 28,3 meter langt buet fritt overløp med terskel på kote 116,40 (HRV), en 20,0 meter bred segmentluke terskel på kote 111,90 og åpningshøyde 4,1 meter, og et ca. 31 meter langt høyre landfeste med et ca. 11 meter bredt manøverhus. Det er her bygd en flomvernsmur mot magasinet med topp på kote 118,26.

Terrenget innenfor høyre landfestet er flatt på kote 117 – 118 i ca. 65 meter fram til en tømmerrenne. Flomvernsmuren med topp på kote 118,26 beskytter mot magasinet langs denne strekningen. Ved overtopping av flomvernsmuren vil imidlertid avrenningen tilbake til elveløpet begrenses av nivået på Bjarne Hansens veg som går nedover langs Svelgfossjuvet. Denne vegen ligger under kote 118,26 fra flomvernet og ca. 20 meter nedover, og deretter under kote 119 i ca. 10 meter, under kote 120 i ytterligere ca. 19 meter og under kote 121 i ca. 34 meter.

Over hele dammen går en gangbane med topp brystning mot magasinet på kote 117,85. Denne høyden er tatt som kronehøyde for dammen. Underkant av segmentlukene i fullt åpen stilling ligger på kote 114,54 for segmentluke 2 (venstre luke), og på kote 116,00 for segmentluke 1 (høyre luke). Da gangbanen foran segmentlukene har underkant på kote 117,00 vil segmentlukene virke oppstuvende før gangbanen. Kapasitetsberegning for dammen ble utført av Sweco i 2013 (Ref. 13, Vedlegg 11). Beregningen konkluderte da med at segmentluke 2 vil dykkes ved vannstand 118,0, og segmentluke 1 ved 118,05. I Vedlegg 15 er disse høydene kontrollregnet og funnet til hhv. 118,04 og 117,95. Disse høydene er lagt til grunn i denne flomberegningen. Pilarene på sidene av lukene er rundet, og det regnes ikke med sidekontraksjon.

Gangbanen ved overløpet har underkant på kote 115,85 men siden denne ligger hele 6 meter nedstrøms overløpstorskelen (på kote 116,40) vil den ikke ha noen oppstuvende virkning.

Beskrivelsen er basert på tegninger fra Grøner AS fra 1980-85 med tegningsnummer 3367-006, -106, -107, -111, -112, -114 og -117 (Vedlegg 1). C-faktorer er hentet fra flomavledningsberegninger av Norconsult i 2004 (Ref. 11, Vedlegg 12) og oppdaterte mål for lukeåpningshøyder fra Sweco i 2013 (Ref. 13, Vedlegg 11). Betingelsene for avløpskurvene vist i Tabell 10, og kapasitetskurven er vist i Figur 23 og i Vedlegg 2.

Tilstopping av flomløpene anses her som usannsynlig pga. flomløpenes store bredde og at det er lagt lense oppstrøms dammen.

Tabell 10 Flomløpsparametere Svelgfoss.

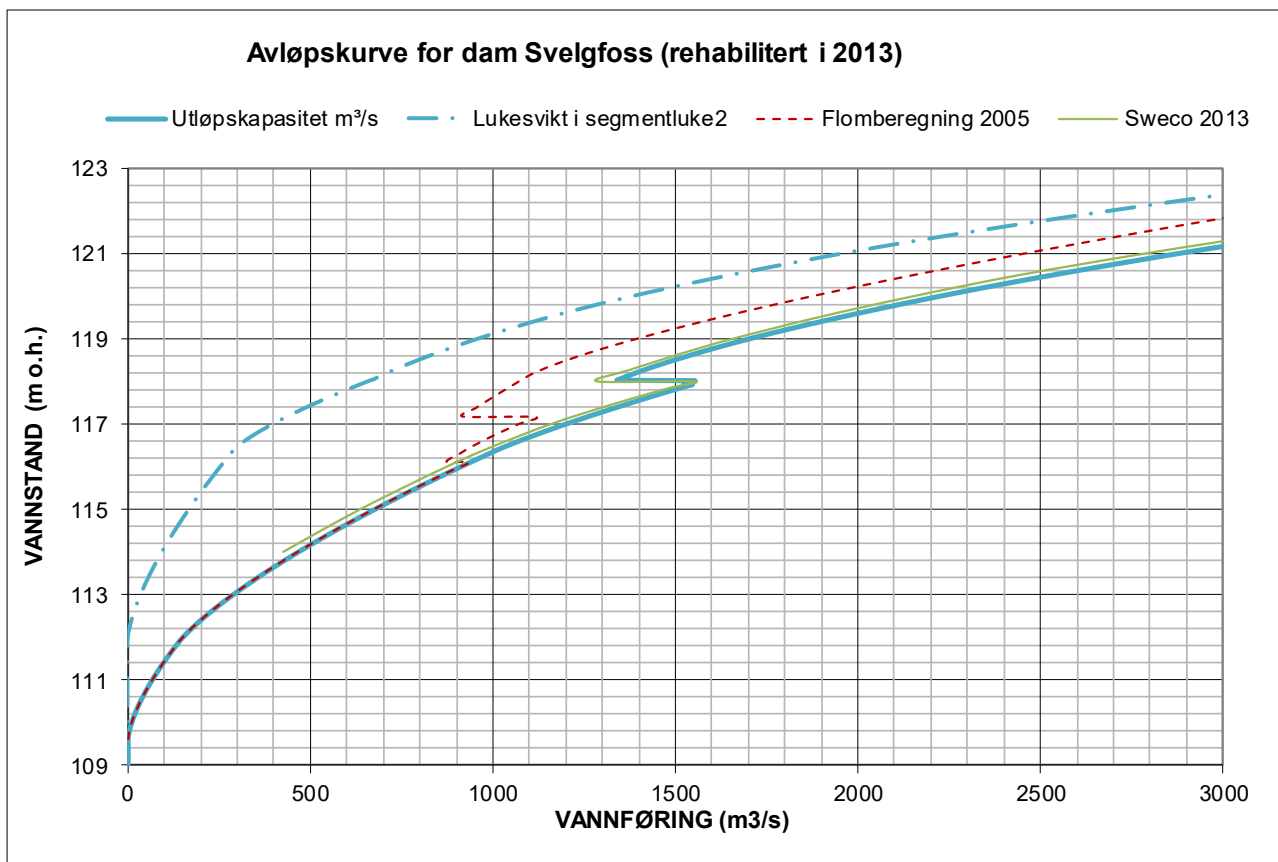
Flomavledningsorgan	terskel	bredde	åpningshøyde	begrensning	dykket ved	C-faktor
Segmentluke 2 (venstre luke)	109.60	20.0	5.10	underkant luke	118.04	2.01
Segmentluke 1 (høyre luke)	111.90	20.0	4.10	underkant luke	117.95	1.56
Fritt overløp	116.40	28.3				2.09
Overtopping av gangbane v luke 2	117.85	20.0				2.00
Overtopping av gangbane v luke 1	117.85	20.0				2.00
Venstre landfeste med brystning på 118.15	118.15	13.0				1.35
Venstre landfeste med brystning på 118.85	118.85	10.0				1.35
Over veg på høyre side	118.26	20.0				1.35
Over veg på høyre side	119.00	10.0				1.35
Over veg på høyre side	120.00	19.0				1.35
Over veg på høyre side	121.00	34.0				1.35
HRV	116.40					
Damkrone	117.85					



Figur 21 Dam Svelgfoss.



Figur 22 Dam Svelgfoss.



Figur 23 Flomavledningskapasitet dam Svelgfoss. Kurven for lukesvikt gjelder ved svikt i segmentluke 2 (se avsnitt 11.5).

4.9 Tinfos-I (damnr. 3503)

Dam Tinfos, Sagafossdammen (Figur 24), er en betongdam i klasse 2 og utgjør inntaket til Tinfos-I kraftverk. Dammen avgrenses av Kanalveien som går oppover langs elvebredden på venstre side, og av en ca. 262 meter lang fyllingsdam som går over til og oppover langs elvebredden på høyre side. En annen offentlig veg, Sagafossveien, går her oppå fyllingsdammen over ca. halve lengden. Utenfor veiene er det et ca. 40 meter bredt, relativt flatt areal med boligbebyggelse, hvoretter terrenget stiger på begge sider.

På venstre side ligger dammen tvers over den 5 meter brede Kanalveien, med topp på kote 48.35. Mellom Kanalveien og Sagafossdammen, går en ca. 20 meter bred kanal (Holtakanalen) forbi dammen og ned til Tinfos-II kraftverk. Innløpet av kanalen sperres av en 16,7 meter bred platedam med topp på kote 49,00 og rulleluke på midten. Deretter følger det på høyre side en ca. 21 meter lang fyllingsdam med topp på kote 49,00. Så følger en ca. 15 meter lang platedam med krone på kote 48,00 inn til Tinfos-I kraftverk. Selve kraftstasjonsbygget er ca. 28 meter bredt og har topp på kote 48,0. Oppå bygget står to lukehus med bredder 4,3 meter og topp på ca. kote 50,5. Til høyre for stasjonsbygget følger videre en ca. 10 meter lang platedam med krone på kote 48,0, og deretter fire 10,80 meter brede og 5,4 meter høye segmentluker med terskel på kote 41,6 og åpningshøyde 4,90 meter. Over hver luke står et ca. 5 meter bredt og 2,50 meter høyt lukehus. Til høyre for segmentlukene følger en ca. 15,1 meter lang platedam med topp på kote 48,0, og til slutt en 262 meter lang fyllingsdam inn til og oppover langs høyre elvebredd. Ved oppgraderingen i 2015 fikk fyllingsdammen tetningsmuren forhøyet til kote 49,0 på strekningen fra platedammen og inn til (84 meter) og oppover langs (148 meter) høyre elvebredd. På de siste 30 meter er ikke tetningskjernen forhøyet, men Sagafossveien innenfor utgjør her en terskel som også ligger på kote 49,0. Med unntak av den del av fyllingsdammen som går langs høyre elvebredd går det over hele dammen en gangbane som har topp på kote 48,00 for delene som ikke er påbygd og på kote 48,35 for delene som ble påbygd i 2015. Gangbanen har et ca. 1,2 meter høyt rekkverk på begge sider, og oppstrøms brystning til kote 49,0 på den delen hvor gangbanen er hevet til kote 48.35. Damtegninger er vist i Vedlegg 1.

Ombyggingen i 2015 var det første av to byggetrinn. Foruten å øke kronehøydene på deler av damanlegget innebar dette byggetrinnet gjenstøping av to av de tre lukeløpene inn til tilløpskanalen til Tinfos-II kraftverk (dvs. til Holtakanalen og dam nr. 4021). Effektive overløpslengder for damanlegget i nåværende situasjon anslås å være 5 meter på kote 48.35 på venstre side ved Kanalveien, deretter ca. 40,3 meter på kote 49,0 (lukedam og venstre fyllingsdam), sentralt ca. 59,7 meter på kote 48,0 (kraftstasjonen unntatt lukehusene samt platedam på hver side av kraftstasjonen og høyre platedam), og på høyre side ca. 262 meter på kote 49 (høyre fyllingsdam). Underkant av segmentlukene i fullt åpen stilling ligger på kote 46,50. Pilarene på sidene av lukene er rundet, og det regnes ikke sidekontraksjon. Dykking av lukene er i Vedlegg 15 beregnet til å inntreffe ved vannstand 48,11, dvs. ved en overhøyde på 1,33 x lysåpningen over terskelnivået.

Kombinasjonen av forhøyede kroner og færre luker etter byggetrinn 1 ga redusert avledningskapasitet for ulykkesflom ift. før. En beregning av flomavledningskapasiteten etter byggetrinn 1 ble gjort av Sweco i 2012 (Ref. 12, Vedlegg 13). Denne beregningen forutsatte imidlertid at lukedykking ikke inntraff før ved den teoretiske overhøyden på 1,5 x lysåpningen, noe som er korrigert for i denne rapporten. Byggetrinn 2 innebærer øking av damanleggets flomavledningskapasitet, men det er i skrivende stund ikke avklart hvordan dette skal gjøres. Det vil bla. avhenge av flomstørrelsene som beregnes i denne rapporten.

Avløpskurvene benyttet ved vannstandsberegningene i denne rapporten er beregnet ut ifra forholda etter byggetrinn 1, og kontrollert mot kurven beregnet av Sweco i 2012. Kapasitetskurvene er vist i Figur 25.

Mht. til tilstopping så er Tinfos-I et vurderingstilfelle. Dam Svelgfoss som ligger i kort avstand (ca. 3,8 km) oppstrøms har lense ovenfor dammen som stanser alt drivgods. Elveløpet fra Svelgfoss til Tinfos er for en stor del et dypt juv med få store trær som kan rives med under flom, kun langs de nedre ca. 1,5 km står det busker og trær inn til elva som potensielt kan rives med. Det er derfor sannsynlig at mengden drivgods ned

på dam Tinfos ikke kan bli svært stor, og det har iflg. Tinfos AS aldri hendt at drivgods har blokkert lukeløpene fra 1955 til d.d. NVE har heller ikke tidligere anført krav om at tilstopping skal legges til grunn. Siste revurdering av dam Tinfos-I ble godkjent av NVE i 2010 (godkjenningbrev av 29.01.2010), og planene for ombygging av dammen (byggetrinn 1) er iflg. Tinfos AS godkjent uten at NVE har anmerket at tilstopping skal legges til grunn ved beregning av dimensjonerende flomvannstand i bruddgrensetilstand.

Samtidig er det slik at medrivning av trær og drivgods stort nok til å forårsake tilstopping, ikke kategorisk kan utelukkes. Det er ikke lense i Tinfos, men en kabel med flytemarkører som er strukket over inntaksmagasinet ovenfor dammen (Figur 26) fanger i praksis opp drivgods.

Det anses likevel som usikkert om denne, sammen med de over nevnte forhold, er tilstrekkelig til at det kan ses bort i fra tilstopping i flomberegningen. Det er derfor beregnet vannstandsstigning både med og uten tilstopping av lukene, og det overlates til dameier å avklare med NVE om hvilken situasjon som skal legges til grunn som dimensjonerende.

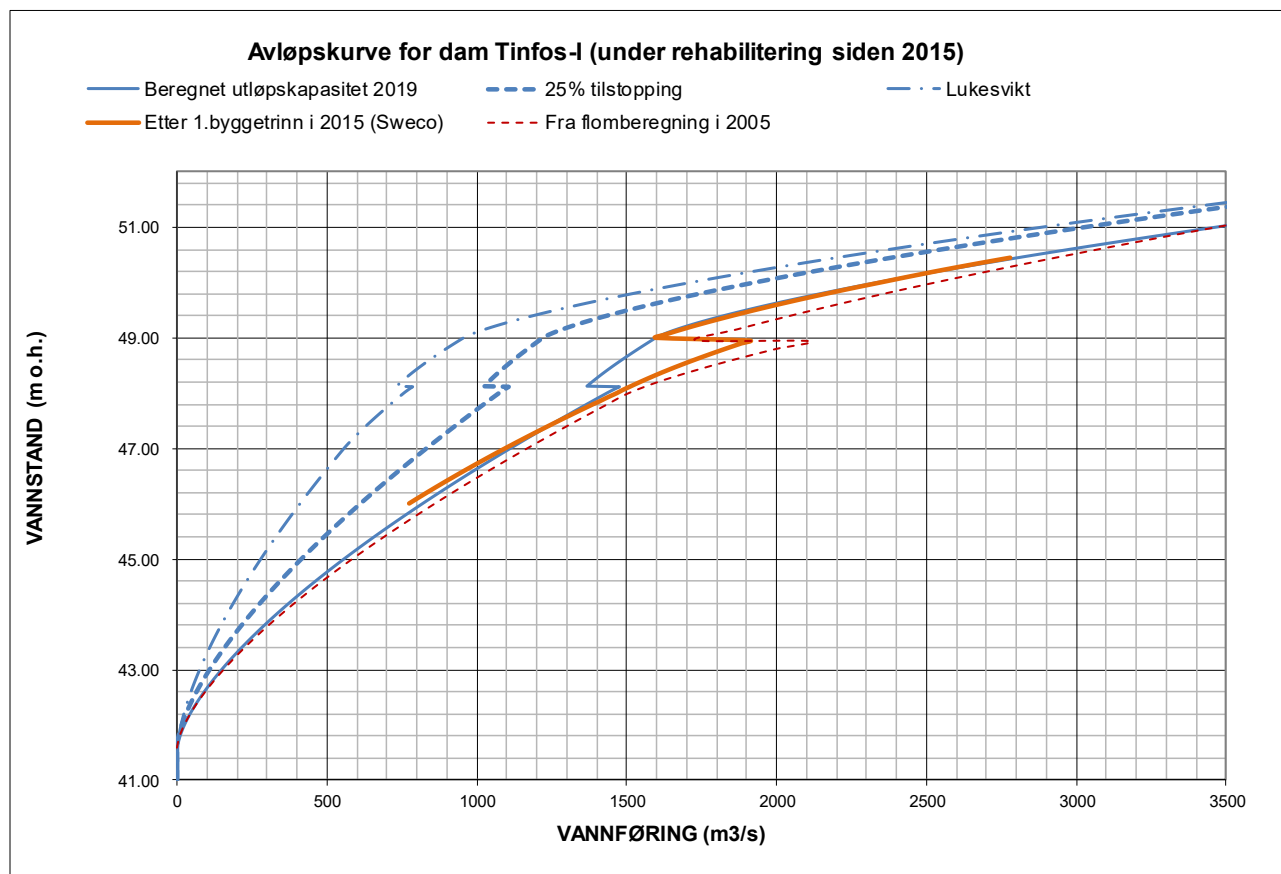
Tinfos kraftverk med vassdragsanlegg er for øvrig lokalisert i «Tinfos kulturmiljø» i Notodden kommune. Området er fredet ved Kongelig resolusjon av 20 juni 2014 med hjemmel i lov av 9 juni 1978 nr. 50 om kulturminner §§20 og §§15 jf. §22 med tilhørende forskrift. Området for kraftproduksjon er definert som vernesone B.



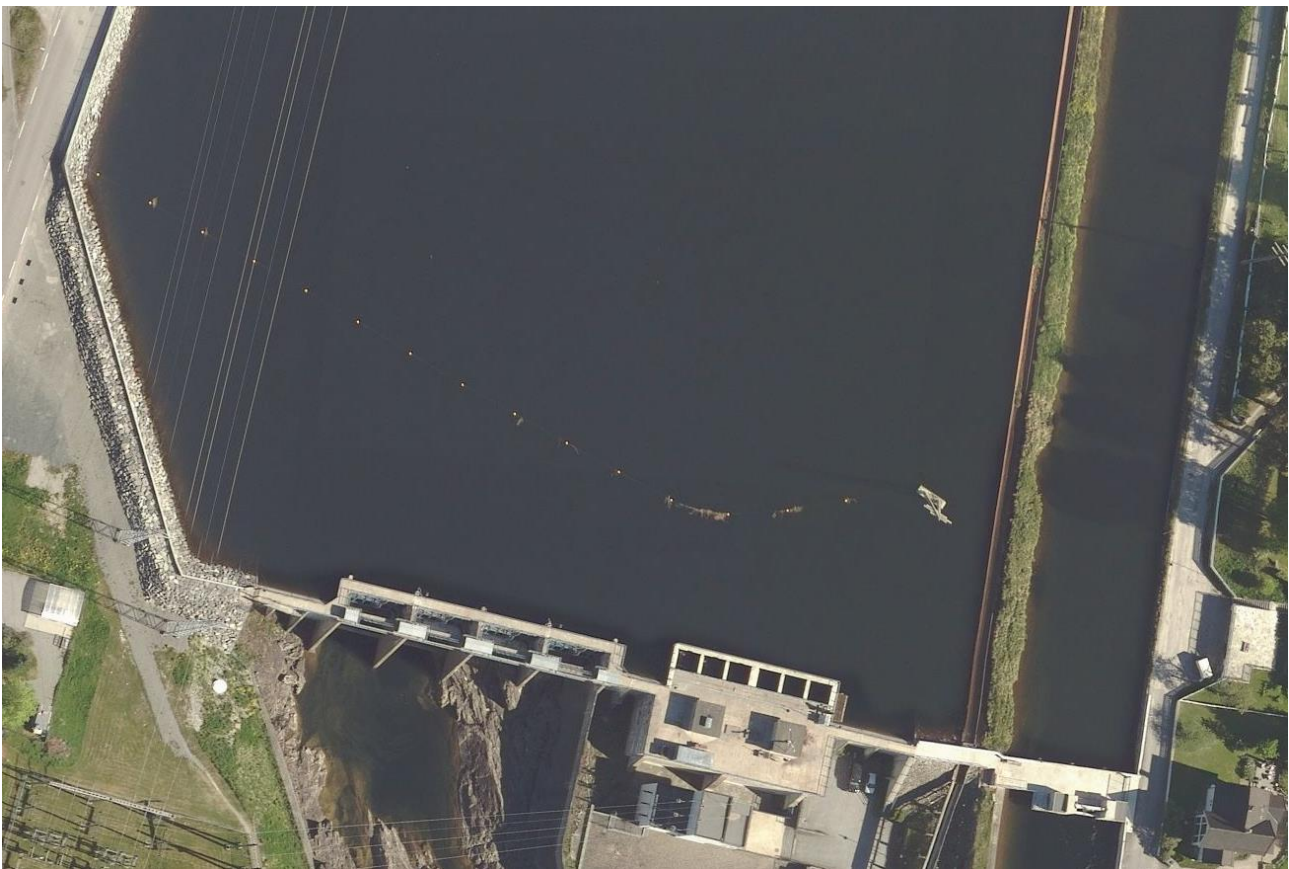
Figur 24 Dam Tinfos-I.

Tabell 11 Flomløpsparametere Tinfos-I.

Flomavledningsorgan	terskel	bredde	høyde	begrensning	dykket ved	C-faktor
Kanalveien kote 48.35	48.35	5.0				1.40
Lukedam kote 49,00	49.00	16.7				1.40
Fyllingsdam venstre kote 49,00	49.00	21.0				1.40
Platedammer kote 48,00 (3 stk)	48.00	40.3				1.60
Kraftstasjon eks lukehus	48.00	19.4				1.40
Segmentluker (4 stk x B= 10,8 m)	41.60	43.2	4.90	underkant luke	48.11	2.05
Fyllingsdam høyre kote 49,00	49.00	262.0				1.40
HRV	47.00					
Damkrone	49.00					



Figur 25 Flomavledningskapasitet dam Tinfos-I. Kurven for lukesvikt gjelder ved svikt i to segmentluker (se avsnitt 11.5).



Figur 26 Kabel med markeringsbøyer ovenfor dam Tinfos-I.

4.10 Tinfos-II (damnr. 4021)

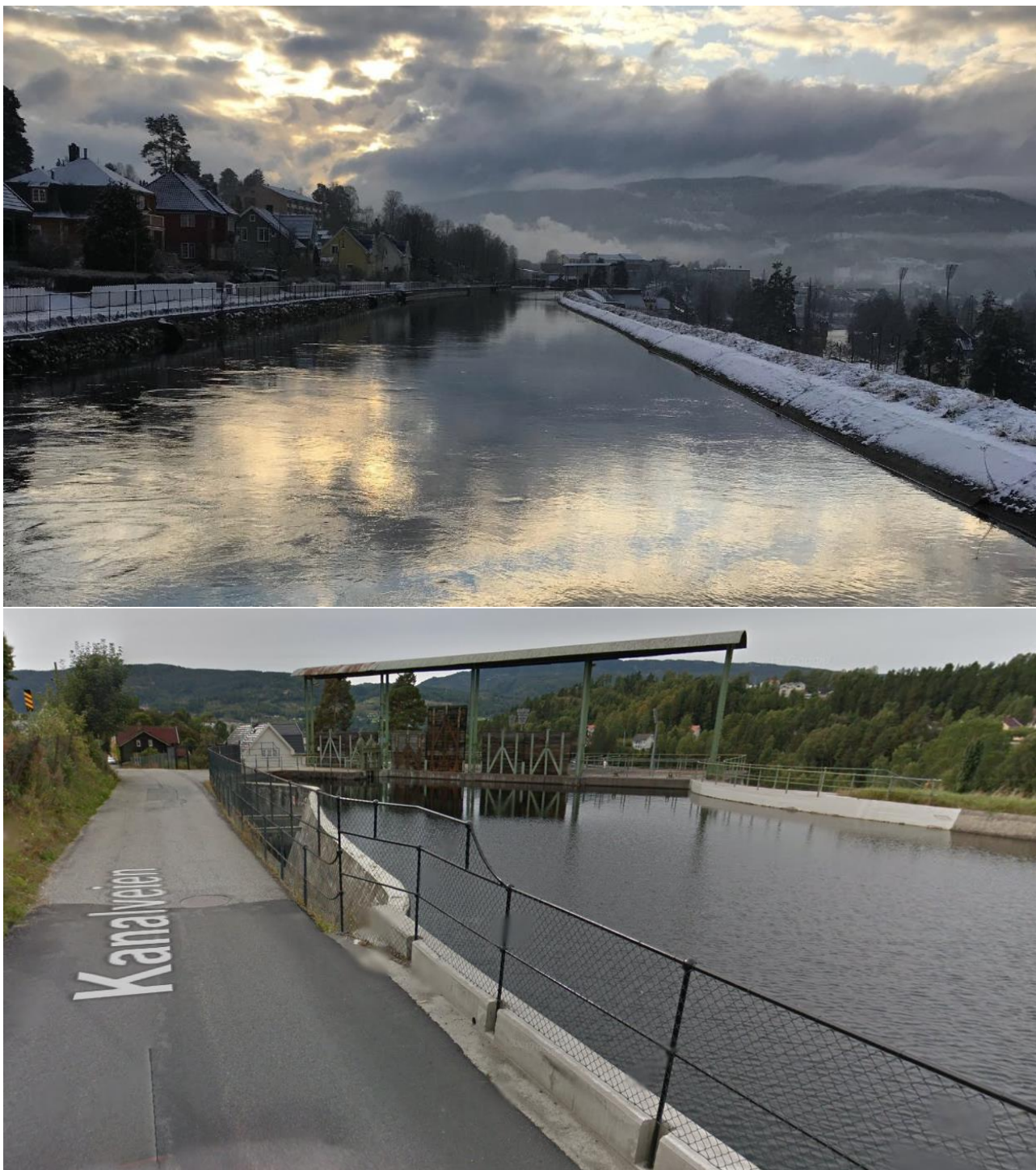
Dam Tinfos-II er innplassert i konsekvensklasse 1, og består av tilløpskanalen og inntaksdammen til Tinfos-II kraftverk. Det er en lukedam ved innløpet til tilløpskanalen, men denne regnes som en del av dam Tinfos-I. Innstrømning til kanalen reguleres gjennom manøvrering av en B x H = 5,0 x 3,8 meter rulleluke. Rulleluka stenges automatisk, med nødslukking, ved vannstander over 47,6.

Tilløpskanalen er 360 meter lang, med bredde 16 meter i bunn og 21,5 meter i topp. Bunnivået faller fra kote 43 øverst ved lukedammen til kote 41 nederst ved kraftverksinntaket. Venstre kanalside dannes av Kanalvegen og kanalskråningen består her dels av murt stein og dels av betong. Topp av kanalskråningen ligger på kote 47,6, men terrenget stiger videre innenfor Kanalvegen. Høyre kanalside består av en fyllingsdam som i nedstrøms ende går over i en ca. 11 meter lang betongdam inn mot kraftverksinntaket. Fyllingsdammens skråning på vannsiden har tetningsplate av betong, med topp på kote 47,6. Selve damkrona ligger 10-20 cm høyere. Betongdammen inn mot kraftverksinntaket har topp på kote 47,5.

Kraftverksinntaket består av en ca. 31 meter lang og ca. 13 meter høy betongdam med krone på 47,5. Inntaket hadde opprinnelig 4 lukeløp, men nå er kun ett i bruk. På venstre side av inntakspartiet finnes en 38 meter lang overløpsterskel på kote 47,1. Overløpet leder ned til en betongkulkvert med estimert kapasitet på over 40 m³/s. Overløpsterskelens funksjon er primært å redusere vannstandsstigning i kanalen ved raskt avslag av kraftverket og regnes ikke med som flomavledningsorgan. Tilløpskanalen kan tømmes gjennom en b x h = 2 x 2 meter glideluke med terskel på kote 41,0. Fra luka går vannet til foran nevnte betongkulkvert.

All flomavledning er lagt til Tinfos I, men kanalen og inntaksdammen må påregnes å bli belastet med samme vannstander som opptrer ved dam Tinfos-I. I bruddgrensetilstanden skal dammen og kanalen derfor dimensjoneres for vannstandsstigningen ved Q₅₀₀, og i ulykkesgrensetilstanden for 1,5 x Q₅₀₀.





Figur 27 Dam Tinfos-II.

5 Tidligere flomberegninger

En oversikt over flomberegninger i vassdraget fra 1984 til 2005 er gitt i Ref. 10. Den siste beregningen for dammene i Måna og Tinnelva ble utført av CM Consulting i 2005 (Ref. 10), og kontrollert av Norconsult i 2012 (Ref. 14). Kontrollen ga kun små endringer i flomstørrelser (- 2,5 %, +0,6 %) og vannstander (-7 cm, + 1 cm) ved dammene i Måna som følge av noen at lokale feltarealer ble rettet opp etter innspill fra NVE.

Siden 2005 har dammene Skarsfoss, Krokan, Tinnoset og Tinfos blitt oppklassifisert. Krokan og Tinfos har av denne grunn fått økte gjentaksintervall som dimensjoneringsgrunnlag. Flomstørrelsene for de nye gjentaksintervallene er inntil nå hentet fra de foregående flomberegningene i hhv. 2005 og 2012. Tabell 12 og Tabell 13 nedenfor viser gjeldende flomberegninger for dammene.

Siden 2005 har videre dammene Skarsfoss, Krokan, Mæland, Dale, Svelgfoss og Tinfos-I blitt ombygd. Økt flomavledningskapasitet for dam Tinfos-I forutsettes utført i et neste byggetrinn.

Gjeldende flomberegning for Møsvatn ble også utført i 2005. Et flomforløp av 10 dagers varighet ga da størst vannstandsstigning og utløpsflom. Flomberegningen ble kontrollert av Norconsult i 2012 og 2016 uten at det ble funnet grunn til å endre på flomstørrelsene.

Flomluka og tappetunnelene i dam Møsvatn skal nå oppgraderes. Norconsult har i den forbindelse utført ny flomberegning for dam Møsvatn i 2020 /Ref. 15/. Også her ble en 10 dagers innløpsflom funnet å gi høyest vannstandsstigning og utløpsflom. Resultatene fra beregningene i 2005 og 2020 er vist i Tabell 14.

Kalhovd-Gjøyst ble også flomberegnet i 2005, mens nyeste beregning er fra 2016 /Ref. 16/. Også her ble et flomforløp av 10 dagers varighet benyttet. Resultatene fra 2005 og 2016 er vist i Tabell 15.

I denne rapporten er flomberegning for dammene i Måna og Tinnelva utført på nytt. Flomtilsig fra Tinnsjøen lokalfelt er beregnet med oppdatert datagrunnlag fram til og med 2018, mens utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er hentet fra de siste flomberegningene for disse dammene, hhv. i 2020 for Møsvatn og i 2016 for Kalhovd-Gjøyst.

Tabell 12 Gjeldende klasse og dimensjonerende flommer i bruddgrensetilstand.

Dam	Klasse	Flom	HRV (moh)	Tilslig (m3/s)	Avløp (m3/s)	Vannstand (moh)	Siste flomberegning
Mårvatn 2016	2	Q ₁₀₀₀	1121.28	198.6	133.8	1122.44	2016
Kalhovd 2016	3	Q ₁₀₀₀	1086.61	380.1	324.2	1087.71	2016
Grottevatn 2016	3	Q ₁₀₀₀	1064.00	130	130	1064.96	2016
Møsvatn 2005	3	Q ₁₀₀₀	918.50	882	492	919.17	2005 ⁷⁾
Skarsfoss ¹⁾	4	Q ₁₀₀₀	857.10	558	558	858.55	2005/2012
Krokan ²⁾	1	Q ₅₀₀	692.50	553	553	696.35	2005/2012
Mæland	1	Q ₅₀₀	282.60	581	581	284.34	2005/2012
Dale	1	Q ₅₀₀	236.00	623	623	236.44	2005/2012
Tinnoset ³⁾	3	Q ₁₀₀₀	191.62	1946	1344	193.16	2005
Årlifoss	2	Q ₁₀₀₀	161.60	1381	1381	161.69	2005
Grønvollfoss	2	Q ₁₀₀₀	144.50	1398	1398	143.84	2005
Svelgfoss ⁴⁾	3	Q ₁₀₀₀	116.40	1483	1483	117.85	2005/2013
Tinfos-I ⁵⁾ før omb. 2015	2	Q ₁₀₀₀	47.00	1490	1490	47.96	2005/2006
Tinfos-I ⁶⁾ etter omb. 2015	2	Q ₁₀₀₀	47.00	1490	1490	48.06	2005/2015
Tinfos-II	1	Q ₅₀₀	47.00	1407	1407	47.84	2012

1) Skarsfoss oppgradert fra klasse 3 til 4 i 2010. Fortsatt Q₁₀₀₀ som dimensjonerende flom.

2) Krokan oppgradert fra klasse 0 til 1 i 2010. Får dermed Q₅₀₀ istf. Q₂₀₀ som dimensjonerende flom.

3) Tinnoset oppgradert fra klasse 2 til 3 i 2017. Fortsatt Q₁₀₀₀ som dimensjonerende flom.

4) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. Q₁₀₀₀ ga da vannstand 117,85 mot tidligere 119,19.

5) Tinfos oppgradert fra klasse 1 til 2 i 2006. Fikk dermed Q₁₀₀₀ istf. Q₅₀₀ som dim. flom og v.st. 47,96 mot tidligere 47,72.

6) Etter byggetrinn 1, har Tinfos 1 fått noe redusert flomavledningskapasitet.

7) Flomberegningene fra 2005 ble kontrollert i 2012 og 2016 uten at man fant behov for å endre flomverdiene.

Tabell 13 Gjeldende klasse og kontrollflommer i ulykkesgrensetilstand.

Dam	Klasse	Flom	HRV (moh)	Tilslig (m3/s)	Avløp (m3/s)	Vannstand (moh)	Siste flomberegning
Mårvatn 2016	2	PMF	1121.28	297.9	211.7	1122.83	2016
Kalhovd 2016	3	PMF	1086.61	670.4	620.4	1088.09	2016
Grottevatn 2016	3	PMF	1064.00	223.9	223.9	1065.36	2016
Møsvatn 2005	3	PMF	918.50	1620	1185	921.81	2005 ⁷⁾
Skarsfoss ¹⁾	4	Q _{PMF}	857.10	1246	1246	859.57	2012
Krokan ²⁾	1	1,5 x Q ₅₀₀	692.50	712	712	697.06	2012
Mæland	1	1,5 x Q ₅₀₀	282.60	747	747	284.85	2012
Dale	1	1,5 x Q ₅₀₀	236.00	791	791	237.83	2012
Tinnoset ³⁾	3	Q _{PMF}	191.62	2786	1888	194.67	2005
Årlifoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	161.60	1943	1943	163.43	2005
Grønvollfoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	144.50	1966	1966	144.86	2005
Svelgfoss ⁴⁾	3	Q _{PMF}	116.40	3173	3173	121.50	2013
Tinfos-I ⁵⁾ før omb. 2015	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	47.00	2098	2098	48.93	2005
Tinfos-I ⁶⁾ etter omb. 2015	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	47.00	2098	2098	49.72	2015
Tinfos-II	1	1,5 x Q ₅₀₀	47.00	2040	2040	49.64	2012

1) Skarsfoss oppgradert fra klasse 3 til 4 i 2010. Fortsatt PMF som kontrollflom.

2) Krokan oppgradert fra klasse 0 til 1 i 2010. Får dermed 1,5 x Q₅₀₀ som kontrollflom.

3) Tinnoset oppgradert fra klasse 2 til 3 i 2017. Får dermed PMF istf. 1,5 x Q₁₀₀₀ som dimensjonerende flom.

4) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. PMF ga da vannstand 121,50 mot tidligere 122,07.

5) Tinfos oppgradert fra klasse 1 til 2 i 2006. Får dermed 1,5 x Q₁₀₀₀ istf. 1,5 x Q₅₀₀ som kontrollflom.

6) Etter byggetrinn 1, har Tinfos 1 fått noe redusert flomavledningskapasitet.

7) Flomberegningene fra 2005 ble kontrollert i 2012 og 2016 uten at man fant behov for å endre flomverdiene.

Tabell 14 Gjeldende (2005) og ny (2020) flomberegninger for Møsvatn.

Dam	Klasse	Flom	HRV (moh)	Tilsig (m ³ /s)	Avløp (m ³ /s)	Vannstand (moh)
Møsvatn 2005	3	Q ₁₀₀₀	918.50	882	492	919.17
Møsvatn 2005	3	PMF	918.50	1620	1185	921.81

Møsvatn 2020	4	Q ₁₀₀₀	918.50	804	475	919.50
Møsvatn 2020	4	PMF	918.50	1998	1363	921.37

Tabell 15 Gjeldende (2016) og gammel (2005) flomberegninger for Kalhovd-Gjøyst.

Dam	Klasse	Flom	HRV (moh)	Tilsig (m ³ /s)	Avløp (m ³ /s)	Vannstand (moh)
Mårvatn 2005	3	Q ₁₀₀₀	1121.28	166	119	1122.29
Kalhovd 2005	3	Q ₁₀₀₀	1086.61	333	289	1087.58
Grottevatn 2005	3	Q ₁₀₀₀	1064.00	93	93	1064.73
Mårvatn 2016	2	Q ₁₀₀₀	1121.28	198.6	133.8	1122.44
Kalhovd 2016	3	Q ₁₀₀₀	1086.61	380.1	324.2	1087.71
Grottevatn 2016	3	Q ₁₀₀₀	1064.00	130	130	1064.96

Mårvatn 2005	3	PMF	1121.28	443	372	1123.04
Kalhovd 2005	3	PMF	1086.61	944	917	1088.26
Grottevatn 2005	3	PMF	1064.00	369	369	1065.64
Mårvatn 2016	2	PMF	1121.28	297.9	211.7	1122.83
Kalhovd 2016	3	PMF	1086.61	670.4	620.4	1088.09
Grottevatn 2016	3	PMF	1064.00	223.9	223.9	1065.36

6 Datagrunnlag - metodikk

Dimensjonerende flomstørrelser for dammene i Måna er beregnet som utløpsflommen fra Møsvatn pluss uregulert tilsig fra lokale delfelt. For dam Dale er i tillegg driftsvannføringen fra Mår lagt til i tilløpsflommen. Den situasjon av drift eller stans i Frøystul kraftverk som gir størst utløp fra Møsvatn er lagt til grunn. Bekkeinntak langs Rjukanstrengen er antatt stengt. Det er ikke regnet med dempning i inntaksmagasinerne. For hver dam er det regnet at nedenforliggende kraftverk står.

Innløpsflom til Tinnsjøen er beregnet som summen av utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst, og den uregulerte flommen fra Tinnsjøen lokalfelt. Utløpshydrogrammene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er her tidsforsinket med vandringstiden ned til Tinnsjøen før de er lagt til flomhydrogrammet fra Tinnsjøen lokalfelt. Verste situasjon av drift eller stans i Frøystul og Mår kraftverk er igjen lagt til grunn, og bekkeinntakene langs Rjukanstrengen og Mår driftstunnel er antatt stengt.

For dammene i Tinnelva er dimensjonerende flomstørrelser beregnet som utløpsflom fra Tinnsjøen pluss uregulert tilsig fra lokalfeltene nedenfor. Det er ikke regnet med dempning i inntaksmagasinerne. For alle dammene er det lagt til grunn at nedenforliggende kraftverk står.

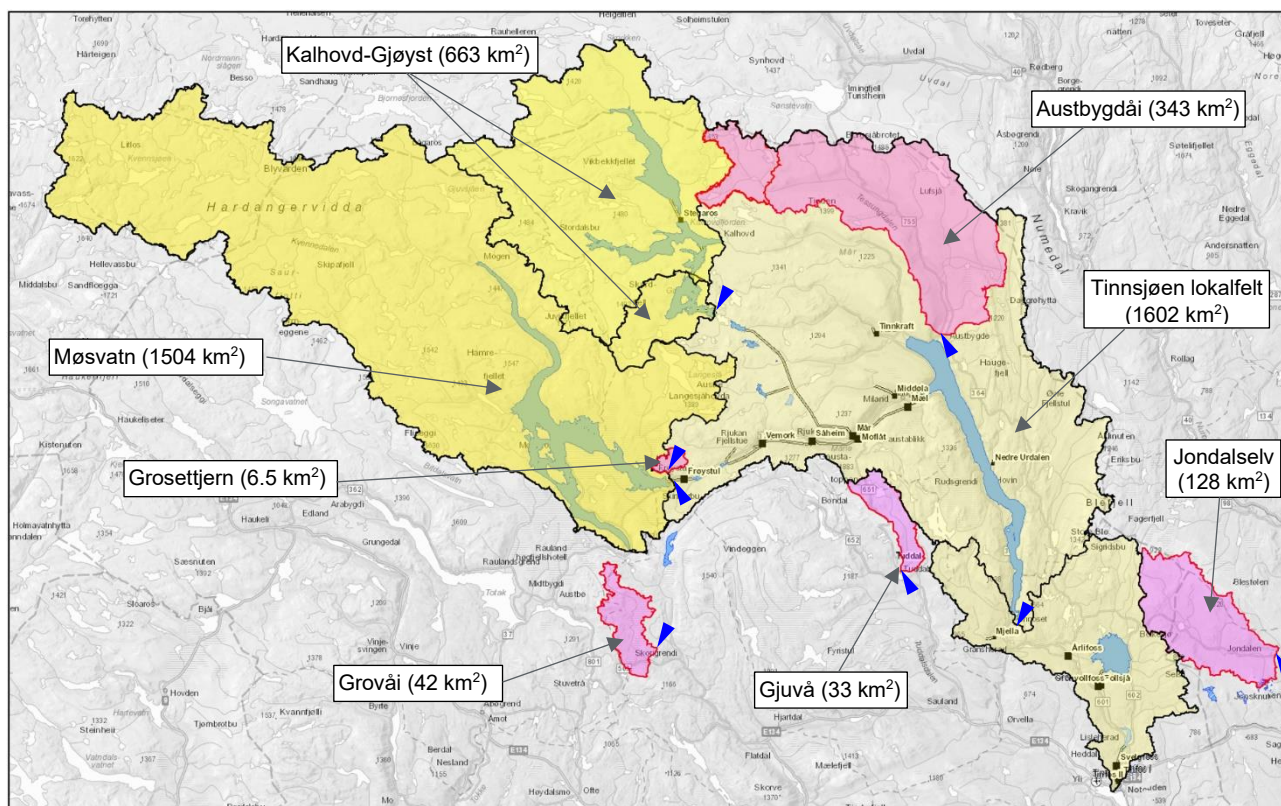
Uregulert flomtilsig fra Tinnsjøen lokalfelt er beregnet ved hjelp av flomformler, flomfrekvensanalyse og nedbør-avløpsmodell. Flomtilsigene for de øvrige lokalfeltene i Måna og Tinnelva er deretter skalert fra Tinnsjøen lokalfelt ut ifra forskjell i feltareal og midlere spesifikk avrenning.

Tabell 16 viser nøkkeldata for vannføringsseriene som er brukt i flomfrekvensanalysen for Tinnsjøen lokalfelt. Figur 28 viser målefeltas geografiske plassering.

Tabell 16 Nøkkeldata for hydrologiske målefelt (data fra Nevina).

nr.	Måleserie	Kilde	Datatype	Areal (km ²)	H _{med} (moh)	A _{se} (%)	q _N (l/skm ²)	start år	slutt år	mangl-ende år	ant. år
1	Grosettjern	NVE16.66.0.1001.1	ureg.vannf.	6.5	1004	3.1	29.7	1949	2018	0	70
2	Austbygdåi	NVE16.128.0.1001.1	ureg.vannf.	342.7	1136	0.1	26	1976	2018	5	38
3	Gjuvå	NVE16.132.0.1001.1	ureg.vannf.	33.0	1081	2.0	38.8	1981	2018	0	38
4	Jondalselv	NVE15.21.0.1001.0	ureg.vannf.	127.6	575	0.3	22.9	1919	2018	0	100
5	Grovåi	NVE16.122.0.1001.1	ureg.vannf.	42.2	911	0.4	19.5	1972	2018	0	47
6	Møsvatn tilsig	NVE16.19.0.1050 + ØTB + Hydro	ber.tilsig	1504.4	1254	5.2	33.6	1909	2018	0	110
7	Kalhovd-Gjøyst (Strengen ndf.)	NVE16.142.0.1050.0 + Statkraft	ber.tilsig	662.6	1246	1.7	24.5	1947	2017	4	67
8	Tinnsjø totalfelt (tilsig Kirkevoll bru)	NVE16.23.0.1050.0	ber.tilsig	3768.2	1170	2.3	28.6	1905	2005	0	101
9	Tinnsjø lokalfelt	diff. serie 10 - 9 - 8	ber.tilsig	1601.2	966	0.1	25.3	1912	2018	3	104
10	Tinnsjø totalfelt (vannf. Kirkevoll bru)	NVE16.23.0.1001.0	reg.vannf.	3768.2	1170	2.3	28.6	1905	2018	1	113

Det finnes enkelte andre måleserier i området, bla. Kvenna, Veisvikvatn, Tansvatn, Sønnlandsvatn og Viertjern, men disse er ikke ansett som representative for Tinnsjøen lokalfelt, ut ifra at de har ulik plassering i høyde over havet (Kvenna, Tansvatn, Viertjern), eller at tidsseriene er for korte (Kvenna, Veisvikvatn), eller at de har reguleringer oppstrøms (Sønnlandsvatn).



Figur 28 Hydrologiske målefelt.

Kommentarer til dataseriene:

Serie nr. 1 – 5 i Tabell 16 er alle uregulerte vannføringsserier, mens serie nr. 6 – 8 er beregnede tilsigsserier.

Tilsigsserien for Møsvatn er sammensatt av NVE-serie 16.19.0.1050 for årene 1909 til 1988, og tilsig beregnet av Hydro for årene 1989 til 2018. NVE-serie 16.19.0.1050 har dekning helt fram til 2005, men sammenligning med Hydro-serien viser at tilsigsserien beregnet av Hydro gjennomgående har noe høyere flomverdier enn NVE-serien. Årsaken antas å være at Hydro-serien er beregnet på grunnlag av løpende tilsig på timebasis, mens NVE serien er beregnet med sentrerte differanser på døgnverdier. For å være konservativ mht. flomberegningene er det derfor valgt å legge Hydro-serien til grunn så langt tilbake som denne går. Samlet antall år for flomberegning er 110 år.

Tilsigsserien for Mårfeltet er NVE-serie 16.142.0.1050 Strengen. Serien starter i 1947 og ble oppdatert fram til og med 2017 av NVE. Årene 1982, 1998-99 og 2011 er tatt ut, da disse årene manglet data for magasin-korreksjon. Samlet antall år for flomberegning ble dermed 67 år.

Tilsig fra Tinnnsjøen totalfelt (serie nr. 8 i Tabell 16) er beregnet som summen av tilsigene til Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst, og observert vannføring ved Kirkevoll Bru (serie nr. 10 i Tabell 16) korrigert for magasinendring i Tinnnsjøen med bruk av sentrerte differanser. Transporttider fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst ned til Tinnnsjøen er ikke hensyntatt. Samlet antall år for flomberegning 101 år.

Tilsig fra Tinnnsjøen lokalfelt (serie nr. 9 i Tabell 16), er beregnet som differansen mellom observert vannføring ved Kirkevoll Bru (serie nr. 10 i Tabell 16) og observert vannføring ut fra Møsvatn (NVE-serie

16.20.0.1001.0) og ut fra Strengen-Kalhovd (NVE-serie 16.142.0.1001.1 og 16.28.0.1001.1), og korrigert for magasinendring i Tinnsjøen med bruk av sentrerte differanser. Transporttider fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst ned til Tinnsjøen er igjen ikke hensyntatt. Samlet antall år for flomberegning er 102 år.

Vannføringsserien for Austbygdåi manglet data for årene 1991-1994. Antall år med data ble dermed 38.

7 Tidligere observerte flommer

Tabell 17 viser de største flommene (døgnmidler) som tidligere er observert i dataseriene. Tabell 18 viser til sammenligning de største observerte vannføringerne ut av Tinnsjøen (dvs. regulert vannføring).

Tabell 17 Tidligere observerte flommer i de uregulerte måleseriene.

	Vårflom			Høstflom		
	(l/skm ²)	(m ³ /s)	dato	(l/skm ²)	(m ³ /s)	dato
Grosettjern	535	3.48	06.05.2004	332	2.16	16.10.1987
	489	3.18	19.05.1966	326	2.12	19.08.1950
	425	2.76	31.05.1967	234	1.52	12.07.2007
Austbygdåi	338	116	06.05.2004	251	86	16.10.1987
	330	113	11.05.2018	245	84	04.07.2007
	310	106	16.05.2013	236	81	02.09.2015
Gjuvå	455	15	18.05.1984	703	23	02.09.2015
	435	14	30.05.1988	455	15	16.10.1987
	415	14	24.05.2014	386	13	09.10.2001
Jondalselv	539	69	29.06.1927	656	84	03.09.2015
	500	64	15.04.1925	539	69	25.08.1950
	385	49	02.05.2008	503	64	04.07.2007
Grovåi	659	28	06.05.2004	649	27	16.10.1987
	556	23	24.05.1978	630	27	15.09.2015
	542	23	18.05.2013	482	20	02.10.2017
Møsvatn tilsigsserie	426	641	29.06.1927	310	467	01.07.1927
	369	555	30.05.1988	305	459	31.08.1938
	353	532	09.06.1997	295	444	06.07.2015
Kalhovd-Gjøyst (Strengen ndf.)	445	295	07.05.2004	252	167	17.10.1987
	357	236	30.05.1988	192	127	05.07.2007
	356	236	21.05.2013	165	110	08.07.2015
Tinnsjø totalfelt (tilsig Kirkevoll bru)	510	1922	29.06.1927	302	1136	06.08.1934
	366	1380	07.05.2004	285	1075	01.07.1927
	340	1282	29.05.1925	278	1048	31.08.1938
Tinnsjø lokalfelt	583	934	29.06.1927	392	628	06.08.1934
	477	763	10.05.1916	329	526	05.07.2007
	411	659	29.05.1925	322	516	16.10.1987

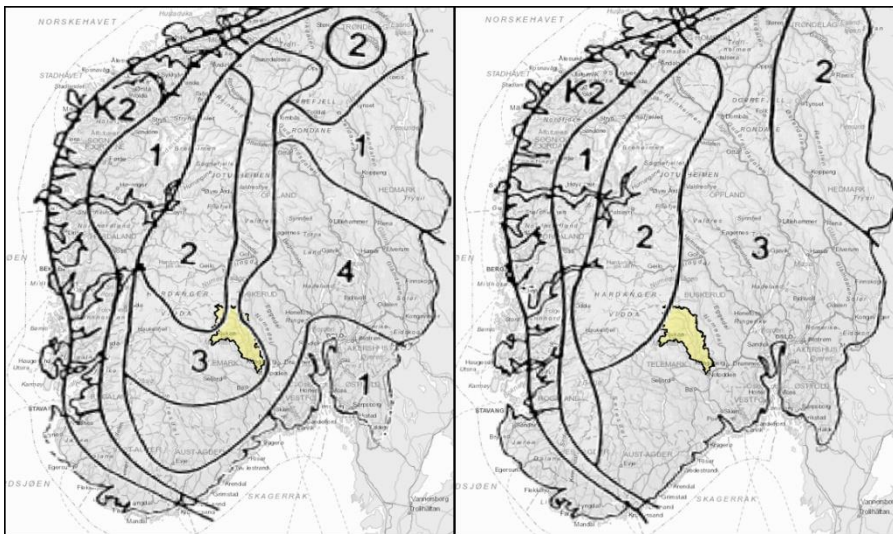
Tabell 18 Tidligere observerte flommer ved utløp Tinnsjøen (regulert vannføring ved Kirkvoll Bru).

	Vårflom			Høstflom		
	(l/skm ²)	(m ³ /s)	dato	(l/skm ²)	(m ³ /s)	dato
Kirkevoll bru vannføringsserie	262	986	30.06.1927	244	918	01.07.1927
	158	595	04.06.1908	196	739	20.08.1950
	158	595	13.06.1926	186	702	03.09.1934

8 Flomskapende sesong

8.1 Iht. flomregioner

Iht. NVEs regioninndeling ligger lokalfeltet til østre del av Skiensvassdraget nedenfor Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst i region 3 både for vår- og høstflom (Figur 29).



Figur 29 Inndeling i flomregioner, årstflommer (K1 og K2), vårflokker (a) og høstflokker (b).

Retningslinjene oppgir følgende formler for vår- og høstflom i region 3:

Vårflom: $\ln q_M = 0,0930 \cdot \ln S_T - 0,0816 \cdot \ln A_{SE} + 0,0281 \cdot \ln A_{SF} + 0,5076 \cdot \ln q_N + 3,59$

Høstflom: $\ln q_M = 1,2014 \cdot \ln q_N - 0,0819 \cdot \ln(A/L_F) - 0,0268 \cdot A_{SE} + 0,0013 \cdot S_T + 1,07$

A er her feltareal (km²), q_N middelavrenning (l/skm²), L_F feltaksens lengde (km) til innløp av magasinet, A_{SE} effektiv sjøprosent (%) unntatt magasin, og S_T hovedelvas gradient (m/km).

De regionale flomformlene gir spesifikke døgnmiddelverdier for middelflokker. Større flokker finnes vha. skaleringsfaktorer som vist under.

	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
H1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5
H2	1,3	1,6	2,0	2,4	2,7	3,0	3,6	3,9
H3	1,3	1,7	2,0	2,6	3,0	3,4	4,2	4,7
K2/ bre	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7
K1	1,2	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
V1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7
V2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3
V3	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5
V4	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1

For lokalfeltet til Tinnsjøen (unntatt magasinet) gir NVEs NEVINA-verktøy feltparametre som vist i Tabell 19. Innsatt i de regionale flomformlene fås da vår- og høstflomstørrelser som vist i Tabell 20.

Tabell 19 Feltparametre for Tinnsjøen lokalfelt (unntatt magasinet).

Felt	Tinnsjøen lokalfelt		
Areal	1550	km ²	
H25	705	moh	høyde 25% perc
H75	1148	moh	høyde 75% perc
As	4.26	%	sjø%
Ase	0.13	%	eff.sjø%
Asf	35.10	%	snauffell%
qm	25.4	l/skm ²	midlere spesifikk avr.
dH	1674	m	maksimal høydeforskjell
St	13.4	m/km	hovedelvas gradient
Lf	38.8	km ²	feltaksens lengde
HI	11.4	m/km	relieff forhold
Pn	806	mm	midlere årsnedbør

Tabell 20 Flomstørrelser beregnet fra regionale flomformler (døgnmiddel).

	q _M l/skm ²	q ₁₀₀ l/skm ²	q ₂₀₀ l/skm ²	q ₅₀₀ l/skm ²	q ₁₀₀₀ l/skm ²
V3:	204	407	448	489	509
H3:	107	320	362	447	501

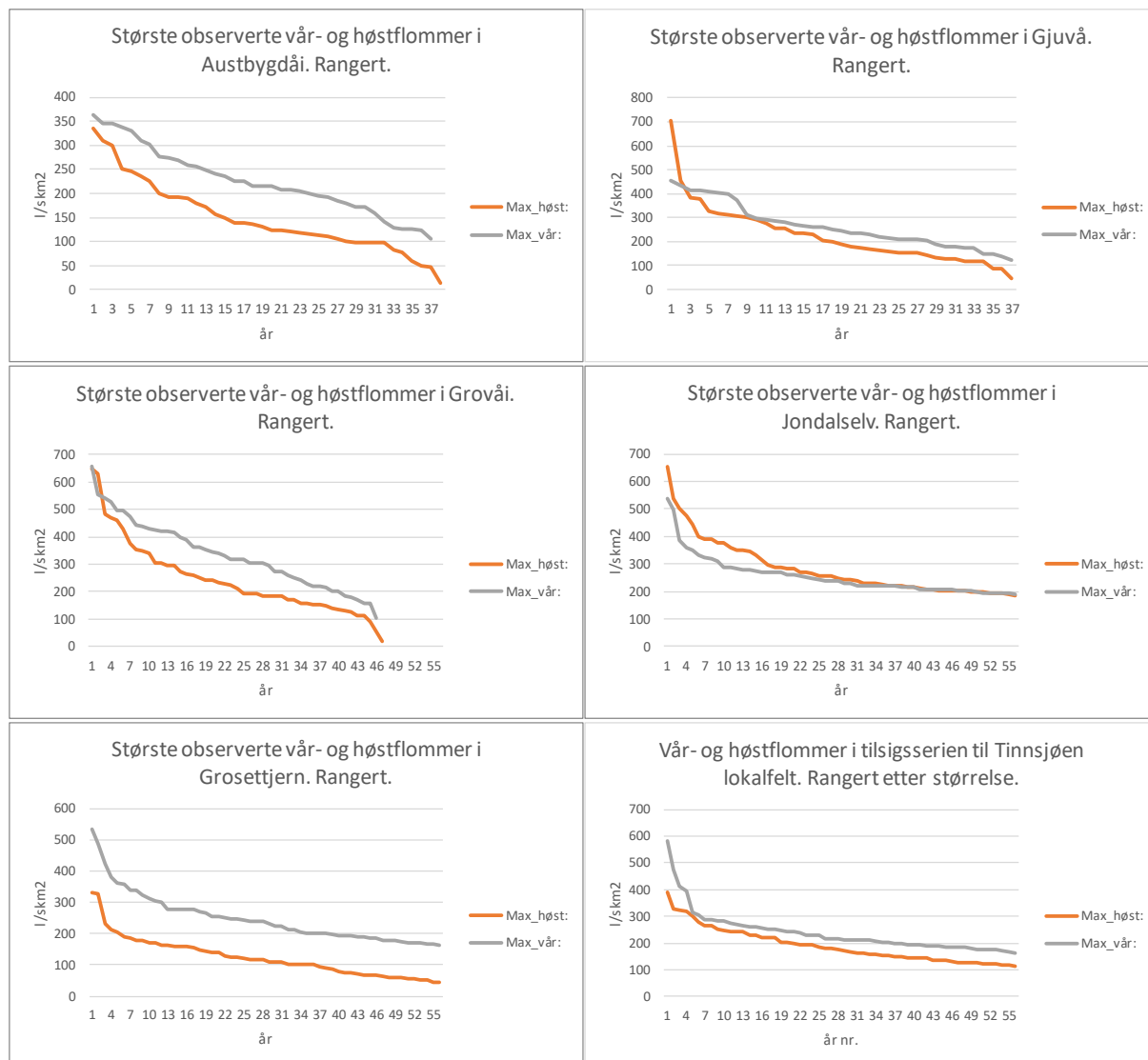
De regionale flomformlene gir dermed ingen klar indikasjon på om området er vårflomdominert eller høstflomdominert.

8.2 Iht. vannføringsdata

Vannførings- og tilsigsseriene gir imidlertid et klarere bilde. I Tabell 17 er listet de største vår- og høstflomhendelsene som er registrert i de benyttede dataseriene. For alle måleseriene unntatt Gjuvå, Grovåi og Jondalselv er vårflommene større enn høstflommene.

Det er likevel kun i Jondalselv høstflommene gjennomgående er større enn vårflommene. Figur 30 viser de observerte vår- og høstflommene i målefelte rangert etter størrelse. Det framgår at for Gjuvå (øverst til høyre i Figur 30) er det kun én ekstremt stor høstflom som når opp til største vårflom, mens høstflommene ellers ligger lavere enn vårflommene. Også i Grovåi er vårflommene gjennomgående størst, men med to høstflommer på høyde med de to største vårflommene (midterst til venstre i Figur 30). For alle de øvrige dataseriene unntagen Jondalselv er vårflommene gjennomgående størst.

Observasjonsdataene tilsier dermed at området er vårflomdominert, men at høstflommer på samme nivå i sjeldne tilfeller kan forekomme. Dette er imidlertid unntaksvis og slike høstflommer vil typisk ha mindre volum og varighet enn flommer med tilsvarende kulminasjonsverdier om våren.



Figur 30 Rangerte plott av største observerte vår- og høstflommer.

9 Flomberegning for Tinnsjøen lokalfelt

Flomberegning for Tinnsjøen lokalfelt er så gjort vha. regionale flomformler, flomfrekvensanalyse, og nedbør-avløpsmodell. Tinnsjøen lokalfelt er regnet som alt areal nedenfor Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst og ovenfor utløpet av Tinnsjøen, totalt 1602 km². Delfelt til bekkeinntak på Rjukanstrengen og driftstunnelen til Mår er mao. inkludert.

9.1 Regionale flomformler

Som vist i avsnitt 8 gir de regionale flomformlene døgnmiddelflommer for Tinnsjøen lokalfelt på

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ d\ddot{o}gn}} = 509 \text{ l/skm}^2 = 815 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for v\ddot{a}rflom.}$$

$$Q_{1000_h\ddot{o}st, \text{ d\ddot{o}gn}} = 501 \text{ l/skm}^2 = 803 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for h\ddot{o}stflom.}$$

Kulminasjonsverdiene beregnes vha. regresjonsligninger gitt i NVEs retningslinjer:

$$\begin{aligned} \text{V\ddot{a}rflom: } & Q_{\text{mom}}/Q_{\text{d\ddot{o}gn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{SE}^{0,5} \\ \text{H\ddot{o}stflom: } & Q_{\text{mom}}/Q_{\text{d\ddot{o}gn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{SE}^{0,5} \end{aligned}$$

A er her feltareal og A_{SE} effektiv sjøprosent uten magasinet. Med $A = 1550 \text{ km}^2$ og $A_{SE} = 0,13 \%$ gir dette kulminasjonsfaktorer på 1,13 for vårflo og 1,27 for høstflo.

1000-års kulminasjonsvannføringer for Tinnsjøen lokalfelt beregnet med regionale flomformler blir dermed:

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ mom}} = 575 \text{ l/skm}^2 = 921 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for v\ddot{a}rflom.}$$

$$Q_{1000_h\ddot{o}st, \text{ mom}} = 636 \text{ l/skm}^2 = 1019 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for h\ddot{o}stflom.}$$

9.2 Flomfrekvensanalyse

For flomfrekvensanalysen er fem uregulerte vannføringsserier og fire tilsigs-serier fra området (serie 1 – 9 i Tabell 16) benyttet som datagrunnlag. For sammenligningens skyld er en flomfrekvensanalyse også utført på serien for regulert vannføring ut av Tinnsjøen (dvs. observert vannføring ved Kirkevoll Bru).

Ved alle flomfrekvensanalysene ble fordelingsfunksjon og formel for plotteposisjon valgt ut ved visuell inspeksjon av flomfrekvensplottene. Den kombinasjon av fordelingsfunksjon og plotteposisjon som ga best tilpasning til observasjonsdataene, med spesiell vekt på de største flommene, ble valgt for beregning av endelig flomstørrelse. Åpenbare ut- og innliggere i datagrunnlaget ble fjernet der disse førte til dårlig tilpasning av frekvensfordelingsfunksjonene.

For Gjuvå-serien ble høstflommen i 2015 utelatt fra analysen, da denne framstår som en tydelig utligger og ga dårlig tilpasning av fordelingsfunksjonene. Vårflommen 1927 er sannsynligvis også en utligger i seriene for Tinnsjøen totalfelt og Tinnsjøen lokalfelt. Denne flommen ble likevel ikke utelatt fra analysene, men i stedet tillagt liten vekt i valget av fordelingsfunksjon. For Austbygdåi ble de seks laveste flomverdiene for års- og vårflo utelatt, da disse forårsaket dårlig tilpasning av fordelingsfunksjonene til de største flomobservasjonene.

Tabell 21 oppsummerer resultatet av flomfrekvensanalysene for vårflo (1/1-30/6), høstflo (1/7-31/12) og årsflo med 1000-års gjentaksintervall. Flomfrekvensplottene er vist i Vedlegg 3.

For alle seriene unntatt Jondalselv er de beregnede vårflommene større enn høstflommene, og til dels med betydelig forskjell. Samtidig er det svært liten forskjell mellom vår- og årsflommene. Flomfrekvensanalysen bekrefter dermed at området er vårflomdominert. Observasjonene fra Gjuvå, Jondalselv og Grovåi (Tabell 17) viser likevel at store høstflommer unntaksvis kan forekomme.

Beregningene gir rimelig god konsistens mellom de aktuelle målefelte.

Tabell 22 viser de beregnede avrenningsverdiene (årsverdi) sammenlignet med verdiene som ble funnet i flomberegningene fra 2005 (Ref. 10). Grosetjern, Gjuvå, Grovåi, og Kalhovd-Gjøyst kommer svært likt ut (94 – 105%), mens Austbygdåi, Møsvatn og Tinnsjøen lokalfelt kommer ut lavere enn i 2005 (80 – 90%). Årsaken kan være at nye flomhendelser etter 2005 ikke har gitt noen nye «største-flommer» og at den lengre dataserien dermed gir lengre gjentakintervaller for de samme største verdiene som forelå i 2005, og/eller at nye flommer som har kommet til etter 2005 har hatt nær identiske verdier med de største som forelå før 2005 og ført til at flomfrekvenskurvene nå får flatere stigning når de tilpasses til datasettet enn de fikk før. Kontroll av flomfrekvensanalysene med NVEs EKSTREM program ga enda lavere verdier enn verdiene beregnet i denne rapporten, og det er derfor vurdert at verdiene i denne rapporten er troverdige og betryggende.

Tabell 21 Flomfrekvensanalyse (døgnmiddelverdier).

Serie	Areal (km ²)	H _{med} (moh)	Q _M		Q _{1000, vår}		Q _{1000, høst}		Q _{1000, år}	
			m ³ /s	l/skm ²	m ³ /s	l/skm ²	m ³ /s	l/skm ²	m ³ /s	l/skm ²
1 Grosetjern	6.5	1004	1.4	217	4.54 ^{1+2,c}	698	3.0 ^{1+2,c}	468	4.6 ^{1+2,c}	704
2 Austbygdåi	342.7	1136	80.9	236	183.4 ^{3,a}	535	154.7 ^{1+3,c}	452	172.8 ^{3,a}	504
3 Gjuvå	33.0	1081	9.2	280	23.7 ^{2,a}	717	19.6 ^{3,b}	594	22.7 ^{2+3,a}	688
4 Jondalselv	127.6	575	19.3	151	84.0 ^{1,b}	659	103.0 ^{1+2,c}	807	104.0 ^{2+3,c}	815
5 Grovåi	42.2	911	14.2	337	39.8 ^{3,a}	943	31.0 ^{2+3,a}	735	43.4 ^{1+3,a}	1027
6 Møsvatn tilsig	1504.4	1254	343.3	228	721.7 ^{2+3,b}	480	641.9 ^{2,a}	427	725.3 ^{2+3,a}	482
7 Kalhovd-Gjøyst (Strengen ndf.)	662.6	1246	139.0	210	363.5 ^{2,c}	549	204.6 ^{1+2,c}	309	361.6 ^{2,c}	546
8 Tinnsjø totalfelt (tilsig Kirkevoll bru)	3768.2	1170	687.1	182	2051.4 ^{1+2,c}	544	1495.5 ^{1+2,c}	397	2091.5 ^{1+2,c}	555
9 Tinnsjø lokalfelt	1601.2	966	494.5	309	1069.3 ^{1,c}	668	902.5 ^{1+2,c}	564	1105.9 ^{1,c}	691
10 Tinnsjø totalfelt (vannf. Kirkevoll bru)	3768.2	1170	294.0	78	967.8 ^{2,c}	257	1322.9 ^{1,a}	351	1214.6 ^{2+4,a}	322
middel alle						644		528		668
middel 1,2, 3, 4, 9						655		577		680
middel 1,2, 3, 9						655		519		647

Fordelingsfunksjon:

- 1) LogNormal
 - 2) Gumbel
 - 3) LogPearson-3
- 1+2 betyr gjennomsnitt av fordelingsfunksjon 1 og 2 osv.

Plotteposisjon:

- a) Weibull
- b) Gringorten
- c) Hazen

Tabell 22 Sammenligning mot beregnede avløpsverdier i flomberegningene fra 2006 og 2016 (årsverdier).

Q1000,år	NO 2020 l/skm ²	CM 2005 l/skm ²
Grosettjern	704	696
Austbygdåi	478	595
Gjuvå	688	680
Grovåi	1027	928
Møsvatn tilsig	482	570
Kalhovd-Gjøyst (Strengen ndf.)	549	587
Tinnsjø lokalfelt	767	854

Av de ni seriene som det er utført flomfrekvensanalyse for er Grosettjern, Austbygdåi, Gjuvå og Tinnsjøen lokalfelt (serie 1, 2, 3, 9 i Tabell 21) vurdert som de mest representative for Tinnsjøen lokalfelt. Middelerdien for disse felta ble derfor valgt som endelig resultat av flomfrekvensanalysen. Dette ga døgnmiddelflommer for tilløp til Tinnsjøen lokalfelt på:

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ d\ddot{o}gn}} = 655 \text{ l/skm}^2 = 1049 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for v\ddot{a}rflom.}$$

$$Q_{1000_h\ddot{o}st, \text{ d\ddot{o}gn}} = 519 \text{ l/skm}^2 = 831 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for h\ddot{o}stflom.}$$

og kulminasjonsverdier (ihht. formelverk i NVEs retningslinjer) på:

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ mom}} = 1,13 \times 655 = 740 \text{ l/skm}^2 = 1186 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for v\ddot{a}rflom.}$$

$$Q_{1000_h\ddot{o}st, \text{ mom}} = 1,27 \times 519 = 659 \text{ l/skm}^2 = 1056 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ for h\ddot{o}stflom.}$$

9.3 Nedbør-avløpsmodell

Flomstørrelsene for Tinnsjøen lokalfelt ble så beregnet med NVEs flommodell PQRUT. Forenklet består denne av et lineært kar med to utløp, der en nedre og en øvre utløpskoeffisient, samt en terskelhøyde for øvre utløp bestemmer hvor mye av innkommende nedbør og snøsmelting som omdannes til avrenning. En tidsserie av effektiv arealnedbør (regn + snøsmelting) gis inn som inngangsverdier og modellen trekker fra fordampning og perkolasjon til grunnen før avløp fra feltet beregnes. Utløpskoeffisientene og terskelhøyden bestemmes ut ifra feltets effektive sjøprosent (A_{SE}), feltaksegradient (H_L), og normalavrenning (q_N), ved hjelp ligningene:

$$K_1 = 0,0135 + 0,00268 \cdot H_L - 0,01665 \cdot \ln A_{SE}$$

$$K_2 = 0,009 + 0,21 \cdot K_1 - 0,00021 \cdot H_L$$

$$T = -9,0 + 4,4 \cdot K_1^{-0,6} + 0,28 \cdot q_N$$

For Tinnsjøen lokalfelt (unntatt magasinet) er $A_{SE} = 0,13 \%$, $H_L = 11,4 \text{ m/km}$, og $q_N = 25,4 \text{ l/skm}^2$ (Tabell 19). Innsatt i regresjonsligningene gir dette:

$$K_1 = 0.078$$

$$K_2 = 0.023$$

$$T = 18.43$$

Nedbør input

Flomavrenningen ble simulert over en 10-døgns periode med 1000-års nedbørverdier innhentet fra DNMI som input (Tabell 23). DNMI verdiene dekker kun opp til 8 døgns varighet, men nedbørverdiene for 9- og 10-døgnsvarighetene ble estimert ved å multiplisere 8-døgnsverdien fra DNMI med forholdstallene mellom 9- og 10-døgnsvarighetene og 8-døgnsvarigheten for observert nedbør ved stasjon 3166 Mogen (røde i Tabell 23).

Nedbørforløp (hyetogram) ble så konstruert ved å plassere den høyeste intensiteten (dvs. 1-døgnsnedbør) på dag nr. 4 i hyetogrammet (ca. 1/3 ute i forløpet), og deretter differansen mellom 2-døgns- og 1-døgnsnedbøren på dag nr. 3, differansen mellom 3-døgns- og 2-døgnsnedbøren på dag nr. 5, osv., helt til alle døgnene i nedbørforløpet var fylt inn. Nedbørhøydene ble tilslutt nedskalert fra punkt- til arealverdier vha. arealreduksjonsfaktorer for de ulike varighetene oppgitt av DNMI (Tabell 24). Dette ga en litt lavere 10-døgnssum enn hvis 10-døgnsnyetogrammet ble redusert flatt med 10-døgns arealreduksjonsfaktoren, men dette ble kompensert for ved å oppjustere nedbørverdiene i de tre første døgnene tilsvarende. Tabell 25 viser de resulterende nedbørhyetogrammene for ulike perioder på året, mens Figur 31 viser hyetogrammene for mars-mai, juni-august og september-november grafisk.

Tabell 23 Karakteristiske maksimale nedbørverdier for Tinnsjøen lokalfelt (kilde met.no).

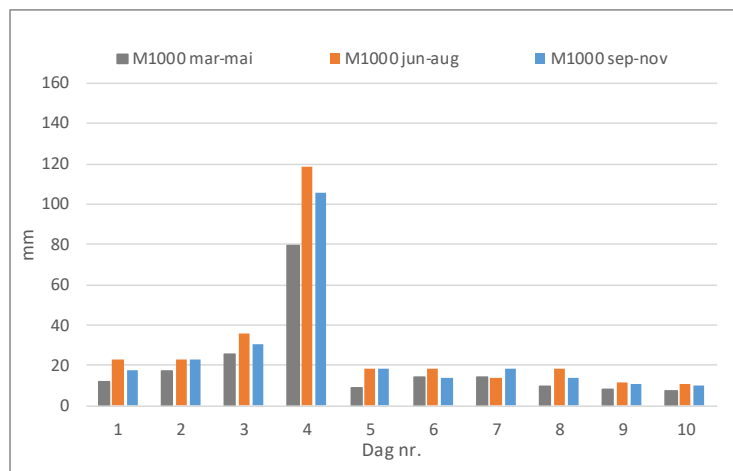
Antall timer (n)	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
M1000 (mm) årsverdi	145	180	205	230	250	270	285	305	318	331
M1000 (mm) jan, feb, des	80	100	110	125	135	150	160	170	177	184
M1000 (mm) mar, apr, mai	90	115	125	140	155	165	180	190	198	206
M1000 (mm) jun, jul, aug	135	170	190	210	230	250	265	285	298	309
M1000 (mm) sep, okt, nov	120	150	170	190	205	220	240	255	266	277

Tabell 24 Arealreduksjonsfaktorer for Tinnsjøen lokalfelt og totalfelt.

Antall timer (n)	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
ARF (1949 kv.km.)	0.88	0.89	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94
ARF (4114 kv.km.)	0.86	0.88	0.89	0.9	0.91	0.91	0.91	0.92	0.93	0.93

Tabell 25 Nedbørhyetogrammer for 10 døgns varighet (arealredusert).

Antall timer (n)	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
M1000 årsverdi	23.3	27.7	36.1	127.6	22.8	18.4	13.8	18.4	12.4	11.4
M1000 des-jan	16.4	16.6	20.4	70.4	9.1	9.2	9.2	9.2	6.9	6.4
M1000 mar-mai	12.2	16.9	25.2	79.2	9.1	13.8	13.8	9.2	7.7	7.1
M1000 jun-aug	22.9	23.0	35.6	118.8	18.2	18.4	13.8	18.4	11.6	10.7
M1000 sep-nov	17.8	22.5	30.7	105.6	18.2	13.8	18.4	13.8	10.3	9.5



Figur 31 1000-års nedbørhyetogrammer for periodene mars-mai, juni-august og september-november.

Fordampningstap og perkolasjon

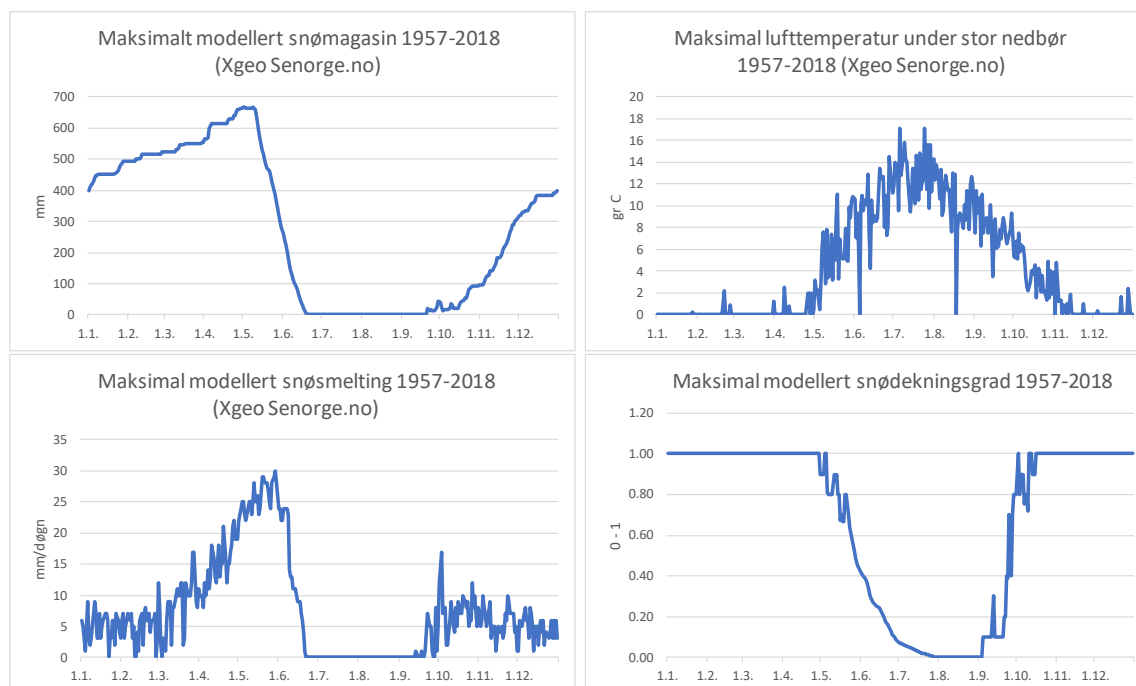
PQRUT-modellen tar også hensyn til fordampningstap og perkolasjon til grunnen. For sommerperioden ble fordampningstap satt lik 3,0 mm/døgn, og for vår- og høstperioden til 2,0 mm/døgn. Perkolasjon til grunnen ble satt til 0.0025 mm/time.

Snøsmelting

Ved flomberegning med nedbør-avløpsmodell skal karakteristiske nedbørverdier kombineres med maksimal realistisk snøsmelting. Den kombinasjon av nedbør og snøsmelting som gir størst flomvirkning skal legges til grunn. Nedbørhyetogrammene for Tinnsjøen lokalfelt viser at de største nedbørintensitetene opptrer fra juni til august, mens noe mindre intensiteter opptrer fra september til november (Figur 33). Maksimal snøsmelting inntreffer på det tidspunkt der produktet av høyeste realistiske smeltetemperatur og høyeste realistiske snødekningsgrad er størst. Gjennom vår- og sommerperioden øker smeltetemperaturen samtidig som snødekningsgraden avtar, mens i høstperioden er det motsatt.

De to øverste grafene i Figur 32 viser maksimalt simulert snømagasin i Tinnsjøen lokalfelt fra 1957 til 2018 og maksimal lufttemperatur på dager med nedbør over 10 mm/døgn. Dataene er hentet fra XGeo, for et punkt som ligger sentralt i feltet på feltets medianhøyde 966 moh. De to nederste grafene viser maksimal simulert snøsmelting og snødekningsgrad⁶. Grafene viser at mai er måneden da størst smeltebidrag kan oppstå. Det kan da fortsatt være et stort gjenværende snømagasin, samtidig som produktet av lufttemperatur og snødekningsgrad kommer opp i sine høyeste verdier. Figuren viser imidlertid også at nesten like høye smeltebidrag kan forekomme i starten av juni, samtidig som Figur 31 viser at nedbørintensiteten i denne måneden er vesentlig større enn i mai.

⁶ Snødekningsgrad oppgis ikke i XGeo men ble simulert med HBV-modell tilpasset til tilsigsserien for Tinnsjøen lokalfelt (se avsnitt 9.4).



Figur 32 Maksimalt snømagasin (øverst venstre), maksimal lufttemperatur under stor nedbør (øverst høyre), maksimal snøsmelting (nederst venstre) og maksimal snødekningsgrad (nederst høyre). Kilde: XGeo-senorge.no.

Kombinert med det forhold at de beregnede utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst også er størst i vår- og sommerperioden (Ref. 15, Ref. 16), konkluderes det derfor med at tidspunktet for størst potensiell tilløpsflom til Tinnsjøen er i første del av juni.

Input til PQRUT-modellen ble derfor tatt som største realistiske snøsmelting i starten av juni, kombinert med nedbørintensitetene i hyetogrammet for perioden juni til august (Tabell 25).

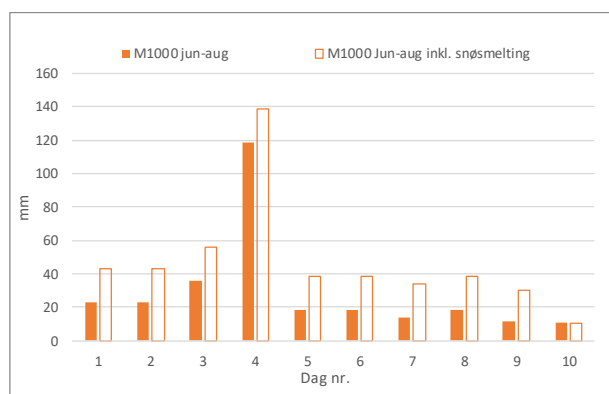
Snøsmeltebidraget ble beregnet ved hjelp av graddagsmetoden etter ligninga $S = C_s \times T_L$ [mm/døgn]. Graddagsfaktoren ble satt til $C_s = 4,0$ mm/døgn, dvs. som for felt med «noe skog» iht. anbefalingen i NVEs retningslinjer for flomberegning (Tabell 26). Som høyeste realistiske snøsmeltetemperatur ble brukt 90%-persentilen av største temperatur under stor nedbør (>10 mm/døgn) i temperaturserien for 1957-2018 hentet fra XGeo for punktet på medianhøyden til feltet. Middelet av denne temperaturen for mai og juni ble lagt til grunn, da denne ble ansett som representativ for datoen 1. juni. Største smeltetemperatur i juni ble slik funnet til $T_L = 10,2$ °C.

Tabell 26 Anbefalte grad-dagsfaktorer, C_s , ved flomberegning (mm/°C pr. døgn).

	Tett skog	Noe skog	Snaufjell	Bre
Perioder uten nedbør	1,5	2,0	2,5	3,5
Perioder med nedbør	3,0	4,0	5,0	7,0

Initielt snømagasin ble satt til 182 mm, tilsvarende 90-persentilen av største snømagasin i juni for det samme punktet. Iht. retningslinjene for flomberegning skal initiell snødekningsgrad vanligvis settes til 70 % for beregning av flommer med opp til 1000-års gjentaksintervall. For store felt må det imidlertid vurderes om denne snødekningsgraden er realistisk. I dette tilfellet vurderes 70% til å være en for høy snødekningsgrad for datoen 1.juni. Største snødekningsgrad i juni i serien fra 1957-2018 var 42%. Initiell snødekningsgrad ble på denne bakgrunn satt til 50%.

Endelig tillegg for snøsmelting ble på denne måten beregnet til 20.4 mm/døgn. Dette ble lagt til jevnt over nedbørhyetogrammets varighet inntil hele snømagasinet på 182 mm var smeltet bort. Resulterende hyetogram for nedbør + snøsmelting som ble brukt som input til PQRUT-modellen ble dermed som vist i Figur 33.



Figur 33 1000-års nedbørhyetogrammer juni-august og nedbørhyetogram pluss snøsmeltebidrag.

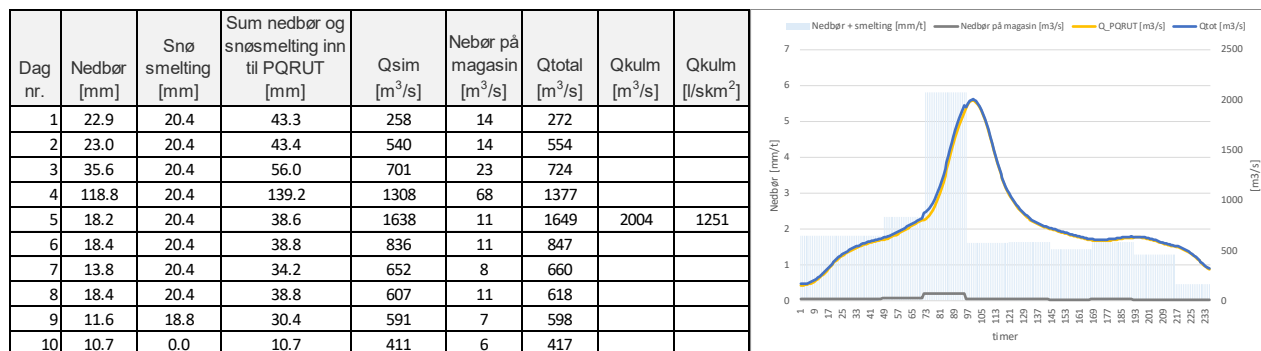
Startbetingelser

Jordsmonnet skal normalt anses som mettet ved simulering av vårflorepisoder men for store innlandsfelt anbefaler NVEs retningslinjer at det bør regnes med et markvannsunderskudd på 20-50 mm for flommer med opptil 1000 års gjentaksintervall, og noe mindre for påregnelig maksimal flom. Markvannsunderskuddet for 1000 års gjentaksintervall ble her satt til 30 mm. Initiell vannføring ved starten av simuleringene ble satt til 150 m³/s, tilsvarende middelvannføringen for 1.juni i tilsigsserien for Tinnsjøen lokalfelt. Konsentrasjonstiden for feltet ble satt til 15 timer iht. formelen $0,6 \times L \times H^{-0,5} + 3000 \times A_{SE}$.

Simulering av tilløpsflom om våren

1000-års tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt ble så simulert med PQRUT. Nedbør direkte på magasinet ble omregnet til m³/s og lagt til flomverdiene for å gi den endelige flomstørrelsen. Tabell 27 oppsummerer resultatene. Detaljopplysninger er gitt i Vedlegg 4.

Tabell 27 1000-års flom simulert med PQRUT.



1000-års innløpsflom simulert med PQRUT ble altså funnet til:

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ d\ddot{o}gn}} = 1029 \text{ l/skm}^2 = 1649 \text{ m}^3/\text{s}$$

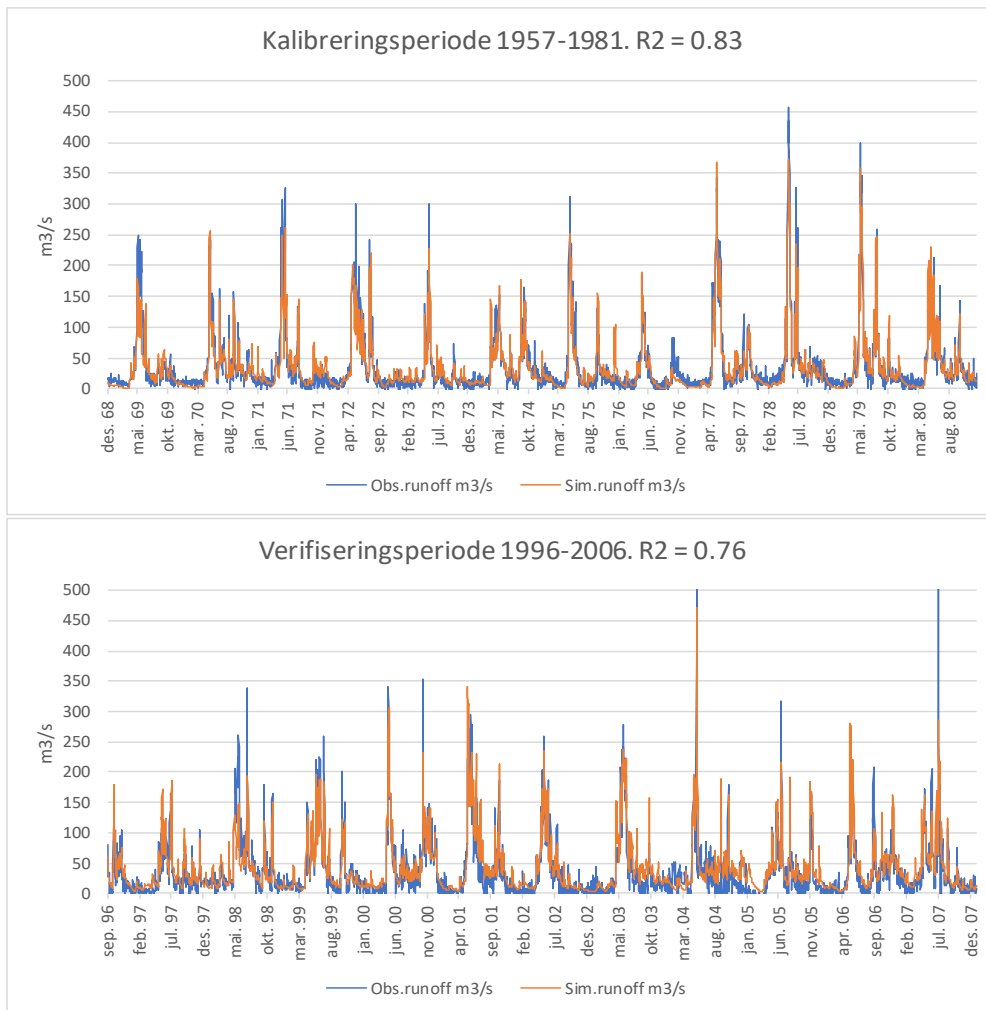
$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ mom}} = 1251 \text{ l/skm}^2 = 2004 \text{ m}^3/\text{s}$$

PQRUT gir mao. svært mye høyere flomverdier (169 %) enn flomfrekvensanalysen.

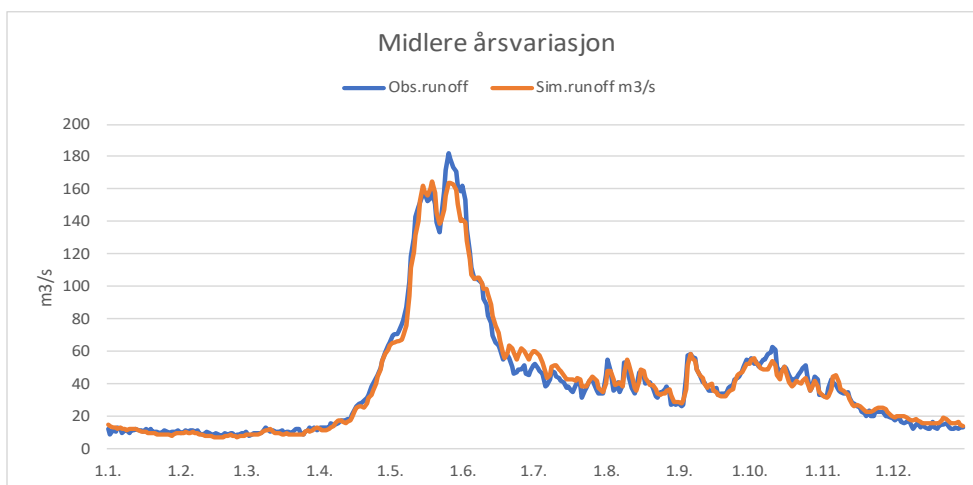
9.4 Q1000 simulert med HBV-modell

Et alternativ til PQRUT er å kalibrere en HBV-modell til tilsigsserien for Tinnsjøen lokalfelt, og så bruke nedbør, temperatur og initialbetingelser som for PQRUT som input til denne for å simulere flomstørrelsene.

En HBV-modell ble derfor tilpasset til tilsigsserien for Tinnsjøen lokalfelt. Inputserier for nedbør og temperatur ble hentet ut fra XGeo for perioden 1957-2018, for det sentrale punktet på feltets medianhøyde. HBV-modellen ble kalibrert for perioden 1957-1981 (hvor tilsigsserien var av best kvalitet), og verifisert mot perioden 1996-2006. Figur 34 viser kalibreringsresultatene og Figur 36 parametersettet som kalibreringen endte opp med. Tilpasningen vurderes som god. R2-verdiene ble hhv. 0,83 og 0,76 for kalibreringsperioden og verifiseringsperioden, og midlere sesongvariasjon gjengis presist (Figur 35).



Figur 34 Kalibrering og verifisering av HBV-modell til tilsigsserien til Tinnsjøen lokalfelt.



Figur 35 Midlere simulert sesongvariasjon vs. sesongvariasjon i tilsigsserien til Tinnsjøen lokalfelt.

Characteristics:		Hypsography		Area distr.:		Glacier distr.:	
NAME :	TinnsjoLokCntXgeo	Outlet :	191 m.a.s.l.	Auto	Auto		
AREA :	1601.00 km2	Elev1 :	414 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
LAKE % :	7.50 %	Elev2 :	627 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
RES % :	0.00 %	Elev3 :	784 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
GLAC % :	0.00 %	Elev4 :	884 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
NLOWER :	5 1 - 10	Elev5 :	969 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
ELEVTEMP :	966 masl. TXGeo_966moh	Elev6 :	1052 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
ELEVPREC :	966 masl. PXGeo_966moh	Elev7 :	1118 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
		Elev8 :	1177 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
		Elev9 :	1232 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	
		Highest :	1865 m.a.s.l.	160.10	0.00	km2	

Meteorological corrections :		Soil water :		Flow response :	
RCORR :	1.037	INFMAX :	50.00 mm / h	KUZ2 :	2.228 mm / day
SCORR :	1.333	FIELD CAP :	255.7 mm	UZ2 :	76.89 mm
TX :	-0.122 °C	BETA :	4.529	KUZ1 :	0.446 mm / day
TCGRAD :	-1.00 °C / 100 m	FCDEL :	0.786 0 - 1	UZ1 :	15.38 mm
TPGRAD :	-0.50 °C / 100 m	EXFILTR :	1.00 mm / day	KUZ :	0.139 mm / day
PGRAD :	5.00 % / 100 m			PERC :	1.81 mm / day
				KLZ :	0.056 mm / day

Snow :		Evapotranspiration :		River routing :	
CX :	4.138 mm / °C day	EPJAN :	0.05 mm / day	EQ.LAKE AREA :	0.00 km2
TS :	-2.696 °C	EPFEB :	0.10 mm / day	TCONST :	0.00 -
CXN :	4.051 mm / °C day	EPMAR :	0.33 mm / day	TZERO :	0.0 m
TSN :	1.44 °C	EPAPR :	0.48 mm / day	TEXP :	1.500 1 - 10
CFR :	0.01	EPMAY :	1.10 mm / day	XFDEL :	0.00 0 - 1
LWMAX :	0.07 0 - 1	EPJUN :	1.67 mm / day		
NDAY :	270 1 - 365	EPJUL :	1.67 mm / day		
CGLAC :	2.00	EPAUG :	1.10 mm / day		
		EPSEP :	0.48 mm / day		
		EPOCT :	0.33 mm / day		
		EPNOV :	0.10 mm / day		
		EPDEC :	0.05 mm / day		
		ep_year :	228 mm / year		

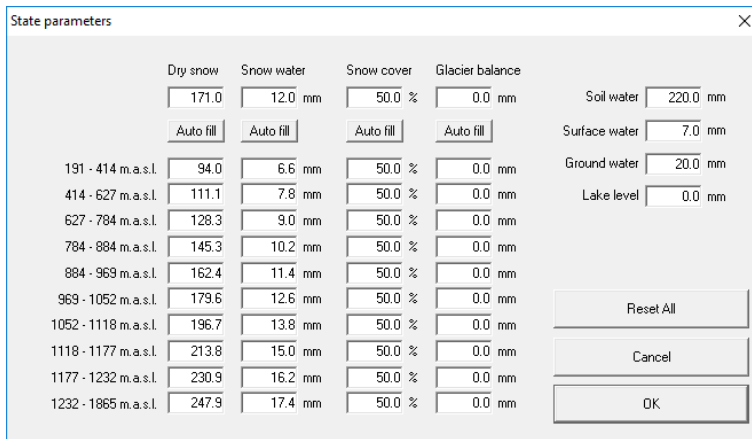
Import from file	
Initial status	
Reset Parameters	Reset All
Cancel	
Save As	OK

Figur 36 Parametersett til HBV-modell for Tinnsjøen lokalfelt.

HBV-modellen ble så brukt til å simulere 1000-års flom fra Tinnsjøen lokalfelt med nedbør- og temperaturinput og initialbetingelser som beskrevet for PQRUT, dvs. markvannsunderskudd -30 mm, initialt snømagasin 182 mm (mettet), snødekningsgrad 50%, og startvannføring 150 m³/s. Figur 37 viser initialtilstandene som ble gitt. Nedbørkorreksjonsfaktoren i parametersettet ble i tillegg satt til 1,0 siden M1000-hyetogrammet representerer sann arealnedbør i feltet.

Resultatet av simuleringen av 1000-års flom med HBV-modellen er oppsummert i Tabell 28. Det er her ikke nødvendig å legge til nedbør på magasinet, siden HBV-modellen er kalibrert til det totale magasintilsiget.

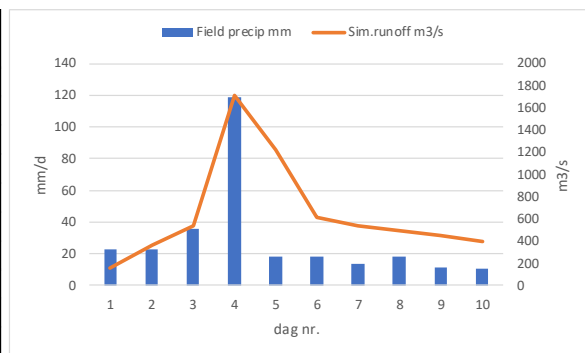
Figur 37 Initialtilstand benyttet ved HBV-simulering av Q₁₀₀₀.



	Dry snow	Snow water	Snow cover	Glacier balance	Soil water	Surface water	Ground water	Lake level
	171.0	12.0 mm	50.0 %	0.0 mm	220.0 mm	7.0 mm	20.0 mm	0.0 mm
191 - 414 m.a.s.l.	94.0	6.6 mm	50.0 %	0.0 mm				
414 - 627 m.a.s.l.	111.1	7.8 mm	50.0 %	0.0 mm				
627 - 784 m.a.s.l.	128.3	9.0 mm	50.0 %	0.0 mm				
784 - 884 m.a.s.l.	145.3	10.2 mm	50.0 %	0.0 mm				
884 - 969 m.a.s.l.	162.4	11.4 mm	50.0 %	0.0 mm				
969 - 1052 m.a.s.l.	179.6	12.6 mm	50.0 %	0.0 mm				
1052 - 1118 m.a.s.l.	196.7	13.8 mm	50.0 %	0.0 mm				
1118 - 1177 m.a.s.l.	213.8	15.0 mm	50.0 %	0.0 mm				
1177 - 1232 m.a.s.l.	230.9	16.2 mm	50.0 %	0.0 mm				
1232 - 1865 m.a.s.l.	247.9	17.4 mm	50.0 %	0.0 mm				

Tabell 28 Q₁₀₀₀ simulert med HBV-modell.

dag	Field precip mm	Field temp C	Sim.runoff m3/s	Kulminasjon m3/s	Kulminasjon l/skm2
1	22.9	10.2	157		
2	23.0	10.2	366		
3	35.6	10.2	537		
4	118.8	10.2	1717	2086	1303
5	18.2	10.2	1223		
6	18.4	10.2	614		
7	13.8	10.2	532		
8	18.4	10.2	496		
9	11.6	10.2	453		
10	10.7	10.2	393		



1000-års vårflomstørrelse simulert med HBV ble funnet til:

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ d\ddot{o}gn}} = 1072 \text{ l/skm}^2 = 1717 \text{ m}^3/\text{s}$$

Simuleringen med PQRUT ga en kulminasjonsfaktor på 1,215 mellom høyeste timesverdi og høyeste døgnmiddel. Legges denne kulminasjonsfaktoren til grunn også for HBV-simuleringen gir dette:

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ mom}} = 1302 \text{ l/skm}^2 = 2086 \text{ m}^3/\text{s}$$

HBV-simuleringen ga mao. enda større flomverdier enn PQRUT-modellen, og hele 176 % av verdien funnet ved flomfrekvensanalyse.

9.5 Oppsummering og endelig valg av 1000-års tilløpsflom

Resultatene av beregningene av 1000-års tilløpsflom for Tinnsjøen lokalfelt ble dermed som oppsummert i Tabell 29.

Tabell 29 Oppsummering av beregnede 1000-års tilløpsflommer.

Beregnete flomstørrelser	Regionale flomformler		Flomfrekvensanalyse		Flommodell PQRUT		Flommodell HBV	
	[m ³ /s]	[l/skm ²]	[m ³ /s]	[l/skm ²]	[m ³ /s]	[l/skm ²]	[m ³ /s]	[l/skm ²]
Døgnmiddel vårflom	815	509	1049	655	1649	1029	1717	1072
Kulminasjon vårflom	921	575	1186	740	2004	1251	2086	1302

Flomfrekvensanalysen gir ca. 30 % høyere verdier enn verdiene beregnet med regionale flomformler, mens simuleringene med PQRUT og HBV-modellen gir mer enn dobbelt så store verdier.

Flomstørrelsene fra PQRUT og HBV-modellen er så ekstremt høye at de vurderes som urealistiske. For PQRUT kan en årsak være at feltarealet her er langt større enn de felt som inngår i bakgrunns materialet for kalibreringsligningene. Største felt i dette materialet er på 800 km² og de nest største på 400-600 km². Ligningene for beregning av K1, K2, og T er dermed ikke representative for Tinnsjøen lokalfelt. For HBV-modellen er parameterne kalibrert til tilsigsserien som er beregnet for Tinnsjøen lokalfelt og er dermed representative for denne, men siden denne serien er beregnet ut ifra tapping, flomspill og volumendring i reguleringsmagasina uten å ta hensyn til transporttider og dempning, har den uvegerlig stor usikkerhet knyttet til seg når det gjelder enkelthendelser der magasinendringene blir store. Flomtopper må derfor antas å bli overestimert pga. at effektene av magasinendring og forsinkelse ikke kommer med. Flomverdiene fra HBV-modellen anses derfor også som usikre.

At nedbør-avløpsmodeller gir urealistisk høye verdier for store felt med mye snauffjell er ellers et kjent problem fra mange tidligere flomberegninger, bla. i flomberegningene for Mårfeltet fra 2016 hvor også modellberegningene måtte forkastes.

Gitt det store og gode datagrunnlaget som foreligger, med flere lange vannføringsserier i eller tilgrensende til feltet, vurderes derfor flomfrekvensanalysen til å være den mest nøyaktige av beregningsmetodene. Det er derfor valgt å forkaste flomstørrelsene beregnet med de regionale flomformlene og nedbør-avløpsmodellene, og legge resultatet fra flomfrekvensanalysen til grunn som endelig flomstørrelse for Tinnsjøen lokalfelt. De endelige flomstørrelsene blir dermed:

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ d\ddot{o}gn}} = 655 \text{ l/skm}^2 = 1049 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1000_v\ddot{a}r, \text{ mom}} = 740 \text{ l/skm}^2 = 1186 \text{ m}^3/\text{s}$$

Avrenningsverdien på 740 l/skm² er identisk med verdien fra flomberegningen i 2005 (743 l/skm²). Største registrerte døgnflom i tilsigsserien til Tinnsjøen lokalfelt er på 583 l/skm², dvs. 89 % av den beregnede Q₁₀₀₀. Dette kan synes høyt, men anses likevel som troverdig ut ifra at den største registrerte flommen var den ekstremt store flommen i 1927.

9.6 Flommer av lengre varighet

Tabell 30 viser de høyeste observerte flommer i tilsigsserien til Tinnsjøen lokalfelt med varigheter 1 - 15 døgn, og tilsvarende flommer med 1000-års gjentakintervall beregnet ved flomfrekvensanalyse på denne serien. For alle varighetene er både de observerte vårflommene og de beregnede 1000-års vårflommene betydelig større enn høstflommene.

Tabell 30 Største observerte flommer og 1000-årsflommer (vår og høst) med varighet 1 – 15 døgn.

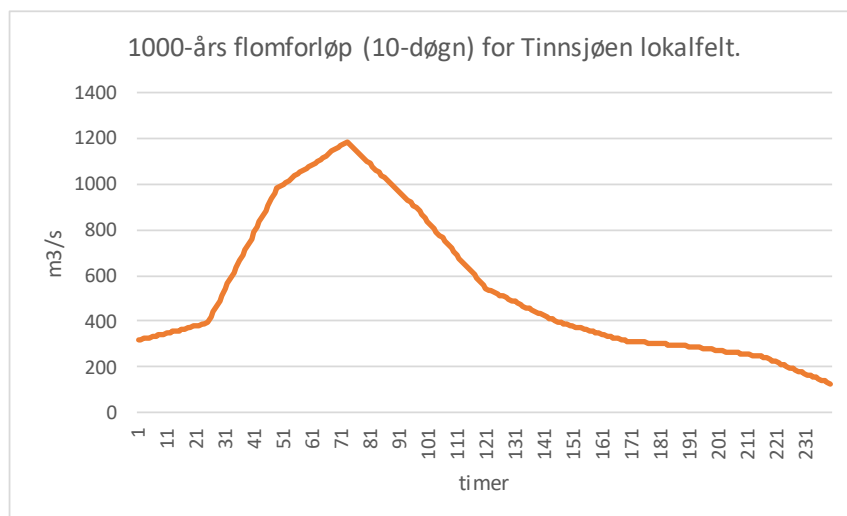
	1-døgn (m ³ /s)	3-døgn (m ³ /s)	5-døgn (m ³ /s)	7-døgn (m ³ /s)	10-døgn (m ³ /s)	15-døgn (m ³ /s)
Q _{observert, vår} (m ³ /s):	934	825	651	548	456	397
Q _{observert, høst} (m ³ /s):	628	557	427	345	317	260
Q _{1000, vår} (m ³ /s):	1069	940	794	643	548	468
Q _{1000, høst} (m ³ /s):	902	735	607	473	451	378

9.7 Kritisk varighet

Flommene i Måna og Tinnelva vil være sterkt dominert av utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst. For begge disse ble kritisk varighet av innløpshydrogrammet funnet til 10 døgn i flomberegningene. Det er derfor også i flomberegningen for Tinnsjøen lokalfelt lagt til grunn en flomhendelse av 10-døgns varighet. Dette er i tråd med tidligere flomberegninger, f.eks. i 1984 (10 døgn), i 1989 (5 døgn), i 1991 (7 døgn) og i 2005 (10 døgn).

9.8 Flomforløp

Forløp til tilløpsflommen ble så konstruert ut ifra forløpet til vårflommen i 1927 som er den største registrerte vårflommen i tilsigsserien til Tinnsjøen lokalfelt. Forløpet ble konstruert med 1-times tidsopløsning og skalert slik at flomtoppen tilsvarte den beregnede 1000-års kulminasjonsvannføringen på 1186 m³/s (Tabell 29) og den midlere vannføring tilsvarte den beregnede 1000-års 10-døgnsvannføringen på 548 m³/s (Tabell 30). Figur 38 viser det resulterende flomhydrogrammet.



Figur 38 1000-års flomforløp for Tinnsjøen lokalfelt basert på vårfloforløpet i 1927.

9.9 Påregnelig maksimal flom

Påregnelig maksimal flom (Q_{PMF}) skal iflg. retningslinjene beregnes vha. nedbør-avløpsmodell, med bruk av påregnelig maksimal nedbør og høyeste realistiske snøsmelting som input. Påregnelig maksimale nedbørverdier for lokalfeltet til Tinnsjøen er vist i Tabell 31. 9- og 10-døgnsverdiene ble igjen forlenget fra 8-døgnsverdien slik som beskrevet i avsnitt 9.3 og nedbørhyetogrammene (Tabell 32) konstruert på samme måte. Igjen framgår det at størst nedbørintensitet opptrer i perioden juni-august. Denne nedbørintensiteten kombinert med største snøsmeltebidrag beregnet for 1. juni ble derfor brukt som input til flomsimulering.

Tabell 31 Påregnelig maksimal nedbør (punktnebdør for et "representativt" punkt i feltet). Kilde: DNMI.

Antall timer (n)	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
PMP årsverdi	260	325	365	410	445	480	515	550	574	597
PMP jan, feb, des	170	215	240	265	290	315	335	360	376	391
PMP mar, apr, mai	180	225	250	285	310	335	355	380	397	412
PMP jun, jul, aug	260	325	365	410	445	480	515	550	574	597
PMP sep, okt, nov	230	290	320	360	395	425	455	485	506	526

Tabell 32 Påregnelig maksimale nedbørhyetogrammer for 10 døgns varighet (arealredusert).

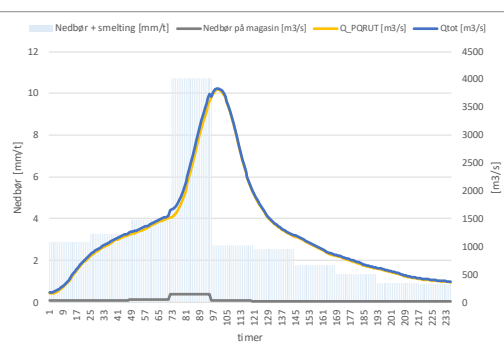
Antall timer (n)	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
PMP årsverdi	40.8	50.4	66.4	228.8	36.4	32.2	32.2	32.2	22.3	20.6
PMP des-jan	28.7	28.9	45.7	149.6	22.8	23.0	18.4	23.0	14.6	13.5
PMP mar-mai	28.9	38.4	46.0	158.4	22.8	23.0	18.4	23.0	15.4	14.2
PMP jun-aug	40.8	50.4	66.4	228.8	36.4	32.2	32.2	32.2	22.3	20.6
PMP sep-nov	35.2	44.7	61.0	202.4	27.3	32.2	27.6	27.6	19.7	18.2

Påregnelig maksimal flom ble så simulert både med PQRUT og HBV-modellen. Samme initialbetingelser som beskrevet i avsnitt 9.3 ble brukt, med unntak av at initiell snødekningsgrad nå ble satt opp til 70% og initielt markvannsunderskudd ned til -15 mm.

Resultatene av PMF-simuleringene med PQRUT og HBV-modellen er vist i Tabell 33 og Tabell 34 nedenfor, samt i Vedlegg 4. For HBV-simuleringen ble benyttet kulminasjonsfaktor 1,23, tilsvarende den som framkom i PMF-beregningen med PQRUT.

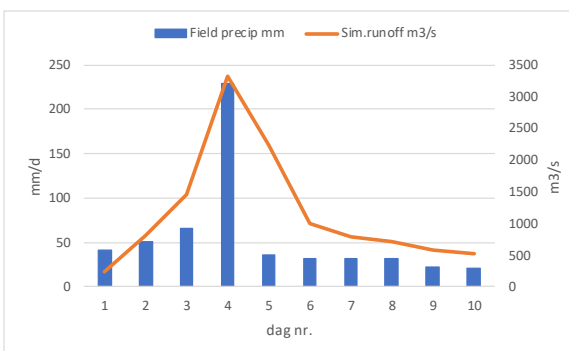
Tabell 33 Q_{PMF} simulert med PQRUT.

Dag nr.	Nedbør [mm]	Snø smelting [mm]	Sum nedbør og snøsmelting inn til PQRUT [mm]	Qsim [m ³ /s]	Nebør på magasin [m ³ /s]	Qtotal [m ³ /s]	Qkulm [m ³ /s]	Qkulm [l/skm ²]
1	40.8	28.6	69.3	420	25	444		
2	50.4	28.6	78.9	1043	30	1073		
3	66.4	28.6	95.0	1370	44	1414		
4	228.8	28.6	257.4	2500	132	2632		
5	36.4	28.6	65.0	3097	22	3119	3843	2399
6	32.2	28.6	60.8	1464	19	1483		
7	32.2	10.6	42.8	1003	19	1022		
8	32.2	0.0	32.2	711	19	730		
9	22.3	0.0	22.3	511	13	524		
10	20.6	0.0	20.6	379	12	391		



Tabell 34 Q_{PMF} simulert med HBV-modell.

dag	Field precip mm	Field temp C	Sim.runoff m3/s	Kulminasjon m3/s	Kulminasjon l/skm2
1	40.8	10.2	232		
2	50.4	10.2	811		
3	66.4	10.2	1456		
4	228.8	10.2	3327	4096	2558
5	36.4	10.2	2238		
6	32.2	10.2	992		
7	32.2	10.2	782		
8	32.2	10.2	712		
9	22.3	10.2	579		
10	20.6	10.2	516		

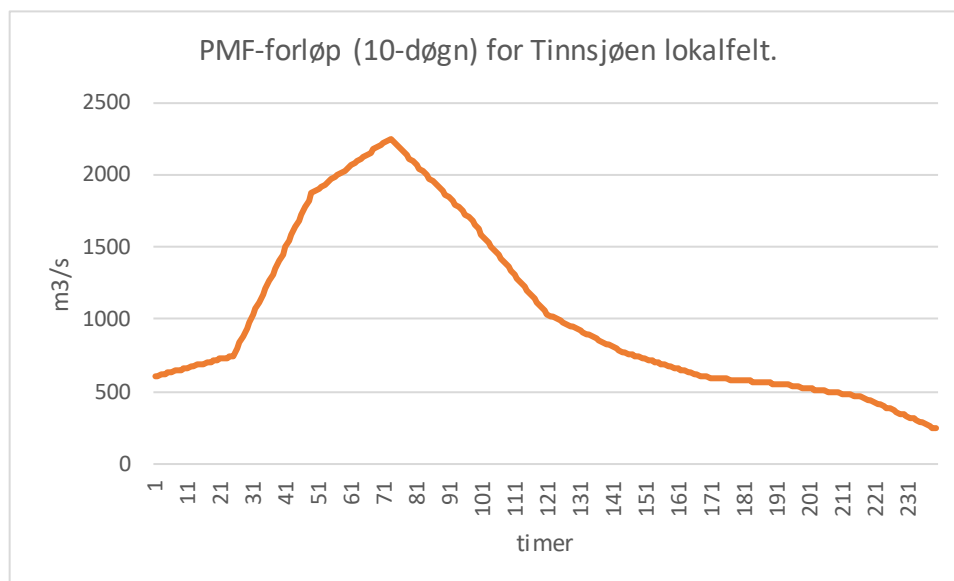


Q_{PMF} -verdiene beregnet med PQRUT og HBV-modellen er igjen ekstremt store, hhv. 3,24 og 3,45 ganger større enn Q_{1000} -verdien som ble funnet i avsnitt 9.5. Til sammenligning er forholdstallet mellom påregnelig maksimal nedbør og 1000-års nedbør (Tabell 31 og Tabell 23) bare på 1,93, og videre bare på 1,89 hvis snøsmeltebidragene også tas med. NVEs retningslinjer oppgir at Q_{PMF} normalt ligger 1,5 – 3,0 ganger høyere enn Q_{1000} for uregulerte felt. Flomverdiene fra PQRUT og HBV-modellen ble derfor igjen ansett som urealistisk høye.

Det ble derfor valgt å underkjenne PMF-verdiene fra PQRUT og HBV, og i stedet benytte en skalering av 1000-års flomforløpet som påregnelig maksimal flom for Tinnsjøen lokalfelt. På bakgrunn av forholdstallet mellom PMP og M1000 inklusive snøsmeltebidrag ble det valgt å bruke 1,9 som skaleringsfaktor. Dette ga en påregnelig maksimal tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt på:

$$Q_{PMF_v\ddot{a}r, \text{ d\ddot{o}gn}} = 1244 \text{ l/skm}^2 = 1993 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{PMF_v\ddot{a}r, \text{ mom}} = 1407 \text{ l/skm}^2 = 2253 \text{ m}^3/\text{s}$$



Figur 39 PMF-forløp for Tinnsjøen lokalfelt basert på vårflomforløpet i 1927.

10 Samlet innløpsflom til Tinnsjøen

Samlet tilløpsflom til Tinnsjøen ble så beregnet som uregulert tilløpsflom fra lokalfeltet pluss utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst. Dammene i Kalhovd-Gjøyst har kun faste overløp, og kan dermed ikke regulere utløpsflommene. I Møsvatn avledes derimot flommene gjennom flomtunneler og luker som kan manøvreres, og det er iht. beskrivelsen i siste flomberegning for Møsvatn lagt til grunn en utløpsflom framkommet ved bruk av en tappestrategi som tillater flomstigning i Møsvatn opp til kote 919,5 (se Ref. 15).

Følgende forutsetninger er ellers lagt til grunn ved beregning av samlet tilløpsflom til Tinnsjøen:

1. Det er antatt at flomhendelsen starter samtidig i alle delfelta (lokalfeltet, Møsvatn, Kalhovd-Gjøyst).
2. Innløpsflommen fra Tinnsjøen lokalfelt er regnet å gå direkte til Tinnsjøen uten tidsforsinkelse.
3. Utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er hentet fra siste utførte flomberegninger, men siden disse flommene er beregnet med forutsetning om at kraftverkene Frøystul og Mår står, er det kontrollert om utløpsflommene blir større med kraftverkene i drift (se avsnitt 10.1).
4. Utløpshydrogrammene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er gitt en tidsforsinkelse på 8 timer, tilsvarende vandringstiden ned til Tinnsjøen (ca. 30 km) ved en bølgehastighet på 1,0 m/s.
5. Samlet innløpshydrogram til Tinnsjøen er så beregnet ved å overlagre tilløpshydrogrammet fra Tinnsjøen lokalfelt med de forsinkede utløpshydrogrammene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst.

10.1 Utløpsflommer fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst med og uten driftstapping

I flomberegningene for Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst er utløpsflommene beregnet under forutsetning om at kraftverkene Frøystul og Mår står. Med kraftverka i drift vil utløpsflommene få tilført driftsvannføringene, men samtidig vil driftstappingen gi økt dempning i magasina og redusert utløp gjennom flomløpene. For å kontrollere hva som gir størst utløpsflom er innløpsflommene for disse magasina rutet på nytt, med driftsvannføringene innlagt. Det er lagt til grunn en produksjonstapping på 75 m³/s i Frøystul og 27 m³/s i Mår. Resultatene er vist i Tabell 35, nedenfor.

Tabell 35 1000-års utløpsflommer i Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst med og uten tapping av driftsvannføring.

	Uten tapping av driftsvannf.			Med tapping av driftsvannf.	
	Q ₁₀₀₀ innløpsflom (m ³ /s)	Q ₁₀₀₀ utløpsflom (m ³ /s)	Vannst. (moh)	Q ₁₀₀₀ utløpsflom (m ³ /s)	Vannst. (moh)
Magasin					
Møsvatn	804	475	919.50	475	919.50
Kalhovd-Gjøyst	380	324	1087.71	322	1087.65

For Møsvatn, hvor 1000-års utløpsflommen er styrt av manøvreringen av flomavledningsorganene, påvirkes ikke utløpsflommen av om Frøystul kraftverk går eller ikke. Manøvreringen av flomlukene kan her tilpasses slik at utløpsflommen og vannstandsstigningen blir lik, både med og uten kraftverket i drift.

I Kalhovd-Gjøyst kan ikke utløpsflommen påvirkes ved slik manøvrering, men utløpsflommen blir i praksis identisk om kraftverket går eller ikke.

For kulminasjonsverdien inn til Tinnsjøen har det dermed ingen betydning om kraftverkene er i drift eller ei. Pga. tidsforskyvningen på 8 timer for vandringstiden ned til Tinnsjøen gir imidlertid situasjonen med kraftverkene i drift økt innløpsflom til Tinnsjøen i akkurat disse innledende timene. Vannstandsstigningen i Tinnsjøen blir dermed raskere i starten av flomforløpet. Når flomhydrogrammene forøvrig er de samme, må

denne raskere stigningen føre til noe høyere kulminasjonsvannstand i Tinnsjøen enn om kraftverkene sto. Det er derfor valgt å bruke utløpshydrogrammene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst for situasjonen med kraftverkene i drift i de videre flomberegningene.

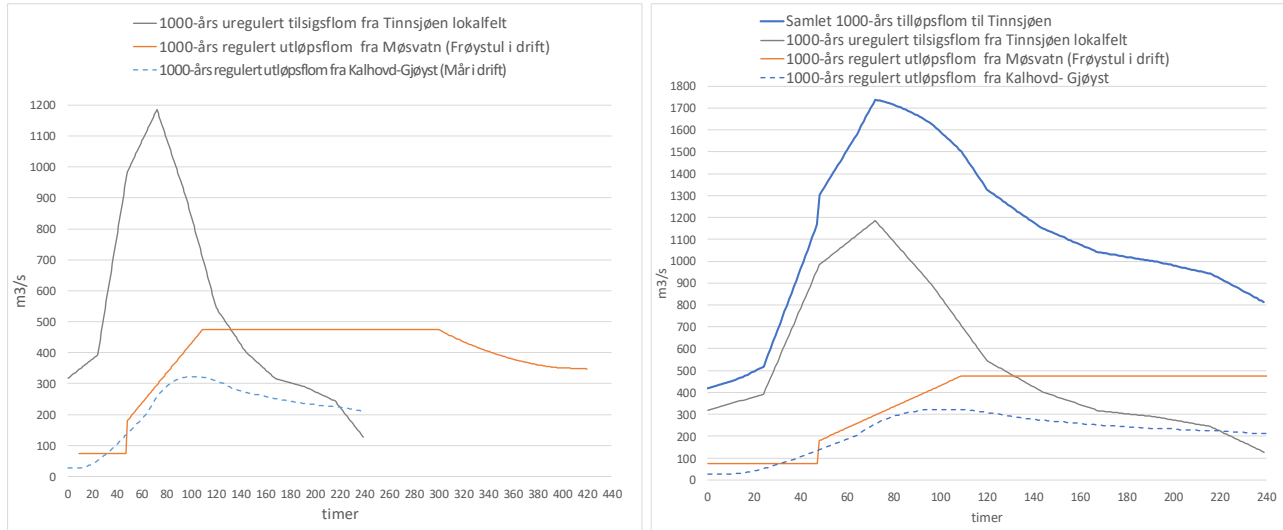
For påregnelig maksimal flom gir rutingene med og uten kraftverkene i drift utløpsverdier som vist i Tabell 36. Også her er situasjonen med kraftverkene i drift den som bør benyttes i de videre flomberegninger.

Tabell 36 Påregnelig maksimale utløpsflommer i Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst med og uten tapping av driftsvannføring.

Magasin	Uten tapping av driftsvannf.			Med tapping av driftsvannf.	
	Q_{PMF} innløpsflom (m ³ /s)	Q_{PMF} utløpsflom (m ³ /s)	Vannst. (moh)	Q_{PMF} utløpsflom (m ³ /s)	Vannst. (moh)
Møsvatn	1999	1363	921.37	1378	921.15
Kalhovd-Gjøyst	670	600	1088.19	599	1088.14

10.2 Samlet 1000-års tilløpsflom til Tinnsjøen

Figur 40 viser 1000-års tilløpshydrogrammene til Tinnsjøen (til venstre) og hydrogrammet for samlet 1000-års innløpsflom (til høyre). Kulminasjonsverdiene er listet i Tabell 37.



Figur 40 Samlet 1000-års flomtilløp til Tinnsjøen totalfelt.

Tabell 37 1000-års døgnmiddel- og kulminasjonsverdier for delfelta og totalfeltet.

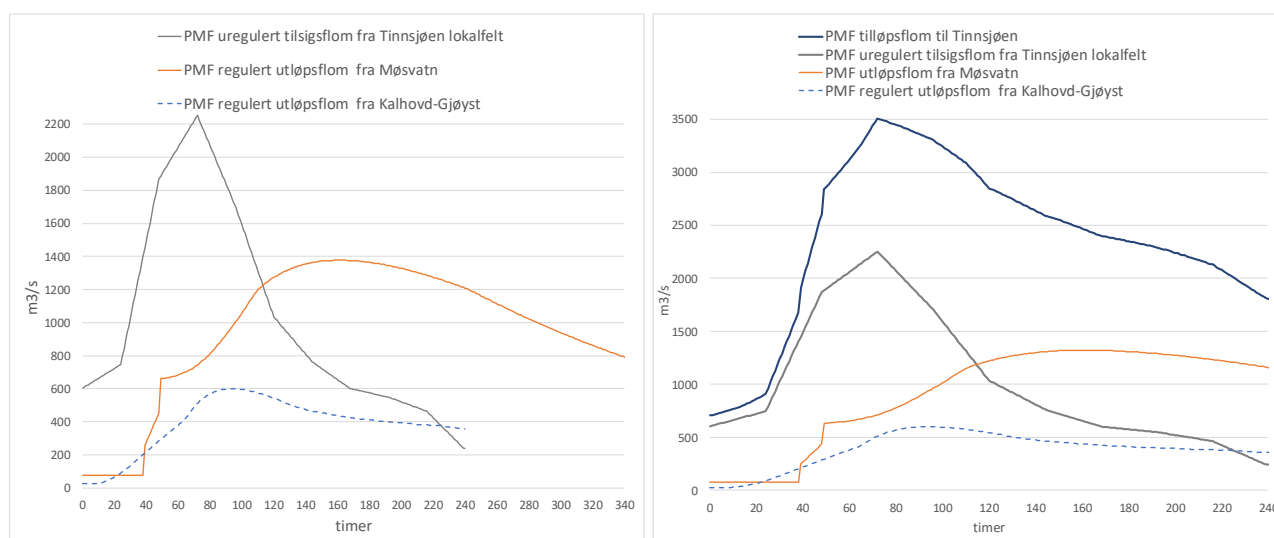
Døgnmiddelverdier / Kulminasjonsverdier (m ³ /s)			
Tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt	Regulert utløpsflom fra Møsvatn	Regulert utløpsflom fra Kalhovd-Gjøyst	Innløpsflom til Tinnsjøen totalfelt
1126 / 1186	475 / 475	320 / 322	1703 / 1739

Overlagringen av delfeltshydrogrammene gir altså en 1000-års kulminasjonsvannføring inn til Tinnsjøen på:

$$Q_{1000_mom} = 1739 \text{ m}^3/\text{s}$$

10.3 Samlet påregnelig maksimal tilløpsflom til Tinnsjøen

Påregnelig maksimal flom beregnet etter samme metodikk som for Q_{1000} gir tilløpsflom til Tinnsjøen som vist i Figur 41 og Tabell 38.



Figur 41 Samlet PMF flomtilløp til Tinnsjøen totalfelt.

Tabell 38 PMF kulminasjonsverdier for delfelta og totalfeltet.

Døgnmiddelverdier / Kulminasjonsverdier (m ³ /s)			
Tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt	Regulert utløpsflom fra Møsvatn	Regulert utløpsflom fra Kalhovd-Gjøyst	Innløpsflom til Tinnsjøen totalfelt
2140 / 2253	1376 / 1378	593 / 599	3432 / 3507

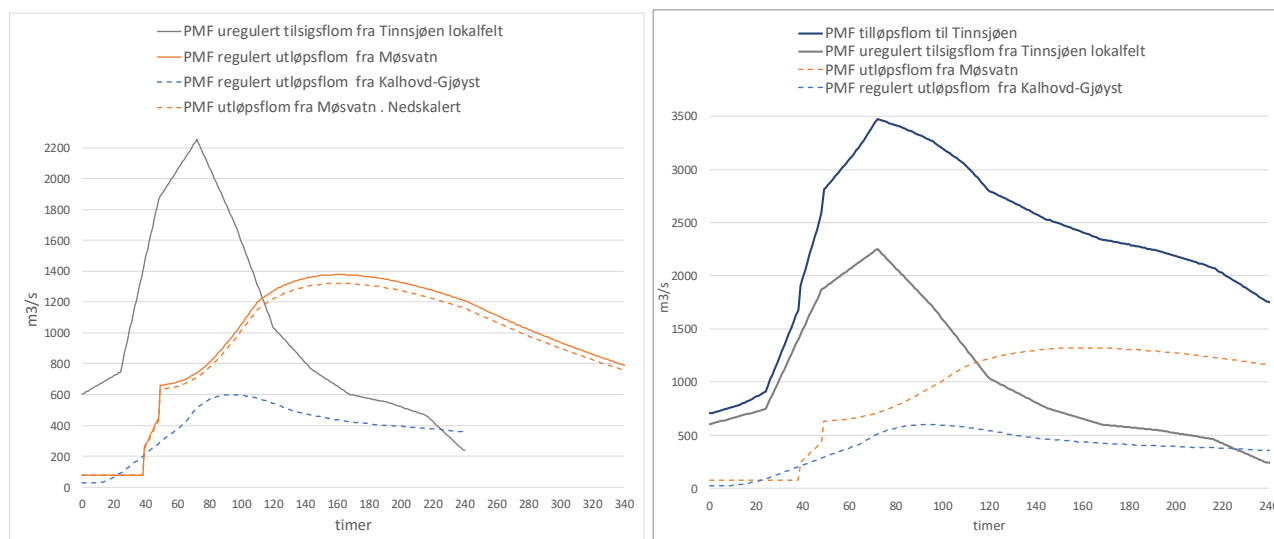
Overlagringen av flomhydrogrammene gir her altså en PMF-kulminasjonsvannføring inn til Tinnsjøen på 3507 m³/s. Denne PMF-størrelsen anses imidlertid å være noe overdrevet ut ifra to forhold:

(1)

Den påregnelige maksimale nedbøren som inngår i PMF-beregningen for Møsvatnfeltet (~1500 km²) er beregnet med mindre arealreduksjon enn det som skulle vært brukt for hele Tinnsjøens totalfelt (~4000 km²). I flomberegningen for Møsvatn ble det lagt til grunn en arealreduksjonsfaktor på 0,97 (Ref. 15), mens arealreduksjonsfaktoren for Tinnsjøens totalfelt er oppgitt til 0,93 (Tabell 24). I flomberegningen for Møsvatn var PMP-volumet beregnet til 592 mm, mens riktig volum i beregningen for Tinnsjøen skulle vært skalert ned

med forholdstallet $0,93 / 0,97 = 0,959$, til 568 mm. For å hensynta dette ble utløpsflommen fra Møsvatn skalert ned med samme forholdstall. Kulminasjonsverdien ut fra Møsvatn ble da redusert fra 1378 m³/s til 1321 m³/s. Samme argumentasjon gjør seg ikke gjeldende for flommene fra Kalhovd-Gjøyst og Tinnsjøen lokalfelt, da PMF-ene for disse felta er beregnet ved skalering av Q_{1000} funnet ved flomfrekvensanalyse. Arealreduksjonsfaktorer har her dermed ikke vært involvert.

Overlagingen av det korrigerte utløpshydrogrammet fra Møsvatn med de andre flomhydrogrammene ga en samlet tilløpsflom til Tinnsjøen som vist i Figur 42 og Tabell 39 under.



Figur 42 Korrigeret PMF flomtilløp til Tinnsjøen lokalfelt.

Tabell 39 Korrigeret PMF for delfelta og totalfeltet.

Døgnmiddelverdier / Kulminasjonsverdier (m ³ /s)			
Tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt	Regulert utløpsflom fra Møsvatn	Regulert utløpsflom fra Kalhovd-Gjøyst	Innløpsflom til Tinnsjøen totalfelt
2140 / 2253	1319 / 1321	593 / 599	3399 / 3476

Påregnelig maksimal tilløpsflom til Tinnsjøen beregnet etter denne metoden ble dermed:

$$Q_{PMF_mom} = 3476 \text{ m}^3/\text{s}$$

(2)

Den påregnelig maksimale innløpsflommen til Tinnsjøen på 3476 m³/s består av påregnelige maksimale utløpsflommer fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst (inkl. driftsvannføringene i Frøystul og Mår), og påregnelig maksimal tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt, altså tre PMF-hendelser samtidig. Dette er en svært konservativ forutsetning.

En alternativ metode å beregne PMF inn til Tinnsjøen på, er å fordele en uregulert PMF inn til Tinnsjøen totalfelt ut på de enkelte delfelta, rute delflommene gjennom sine respektive magasin, og så slå sammen

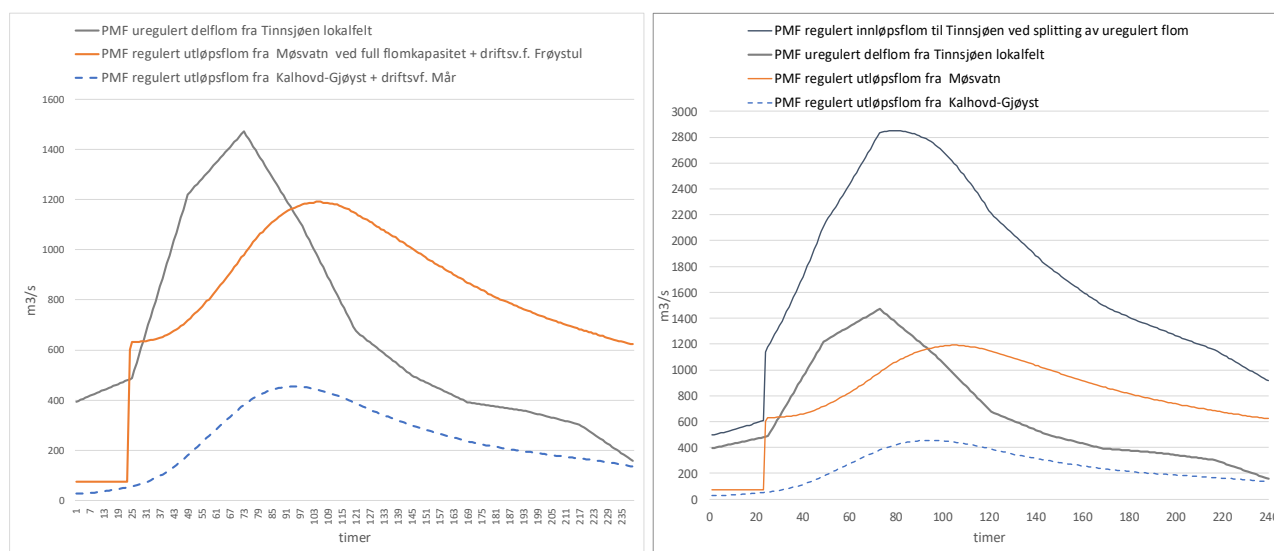
utløpshydrogrammene for å finne den regulerte PMF-en inn til Tinnsjøen. 1000-års uregulert innløpsflom til Tinnsjøen ble i flomfrekvensanalysen funnet til 2051 m³/s basert på tilsigsserien for Tinnsjøen totalfelt (avsnitt 9.2, Tabell 21). Skaleringfaktoren opp til PMF ble i avsnitt 9.9 funnet til 1,9. Ved å oppskalere den uregulerte 1000-årsflommen med denne faktoren blir uregulert PMF inn til Tinnsjøen på 3897 m³/s. Ved så å fordele flomforløpet på de ulike delfelta, og rute delflommene gjennom magasina fås følgende inn- og utløpsflommer:

Tabell 40 Q_{PMF} for delfelta beregnet ved fordeling av uregulert PMF beregnet fra tilsigsserien til Kirkvoll bru.

	Tilløp (m ³ /s)		Avløp (m ³ /s)		
	døgnmiddel	kulminasjon	døgnmiddel	kulminasjon	
Møsvatn (full flomavl.kap.)	1736	1828	1181	1191	inkl.driftsv.f. Frøystul
Mår	211	222	161	163	inkl.driftsv.f. Stegaros
Kalhovd-Gjøyst	491	508	448	454	inkl.driftsv.f. Mår
Tinnsjøen lokalfelt	1398	1472	1398	1472	

I denne beregningen er det lagt til grunn full utløpskapasitet fra Møsvatn⁷, samt «verste» situasjon av drift eller stans i kraftverkene Frøystul, Stegaros og Mår. Driftsvannføringer på hhv. 75 m³/s, 12 m³/s og 27 m³/s ble benyttet for disse.

Overlagring av avløpshydrogrammene gir da flomforløp som vist i Figur 43 og kulminasjonsvannføringer som vist i Tabell 41.



Figur 43 Alternativt PMF flomtilløp til Tinnsjøen totalfelt.

⁷ Regulering av lukene i Møsvatn er her ikke relevant fordi laveste vannstandstigning og utløpsflom uansett oppnås ved full flomavledningskapasitet.

Tabell 41 Alternative PMF kulminasjonsverdier for delfelta og totalfeltet.

Døgnmiddelverdier / Kulminasjonsverdier (m ³ /s)			
Tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt	Regulert utløpsflom fra Møsvatn	Regulert utløpsflom fra Kalhovd-Gjøyst	Innløpsflom til Tinnsjøen totalfelt
1398 / 1472	1181 / 1191	448 / 454	2828 / 2853

Denne beregningsmetoden gir altså en PMF-kulminasjonsvannføring inn til Tinnsjøen på 2853 m³/s. Denne verdien er svært nær verdien for 1,5 x Q₁₀₀₀ fra flomberegningen i 2005 (2786 m³/s).

Begge beregningsmåtene kan anses som korrekte og konservative framgangsmåter for beregning av påregnelig maksimal innløpsflom til Tinnsjøen. PMF-verdien på 3476 m³/s vurderes som konservativ fordi denne tar utgangspunkt i samtidige PMF-hendelser både i Møsvatn, Kalhovd-Gjøyst og Tinnsjøen lokalfelt. Verdien på 2853 m³/s anses som konservativ fordi den skalerer er basert på skalering av 1000-årsverdien fra tilsigsserien for «momentant tilsig» uten effektene av magasindempning og transportforsinkelse.

Som konklusjon er det valgt å legge gjennomsnittet av de to beregningsmåtene til grunn som endelig PMF-verdi inn til Tinnsjøen. Dette gir:

$$Q_{PMF_døgn} = 3114 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{PMF_mom} = 3165 \text{ m}^3/\text{s}$$

Til sammenligning ga altså flomberegningen i 2005 1,5 x Q₁₀₀₀ = 2786 m³/s inn til Tinnsjøen.

10.4 Vurdering av flomberegningen og endelig valg av flomstørrelser

10.4.1 Vurdering av Q₁₀₀₀

De ulike beregningsmetodene gir svært ulike 1000-års flomestimat for Tinnsjøen lokalfelt, hhv. 921 m³/s for regionale flomformler, 1186 m³/s for flomfrekvensanalyse og 2004-2086 m³/s for nedbør-avløpsmodeller. At verdien på 1186 m³/s er valgt som den endelige flomstørrelsen begrunnes med at denne har framkommet på bakgrunn av et solid datagrunnlag med mange lange måleserier som gir relativt konsistente resultater, og at det er åpenbare usikkerheter knyttet til de øvrige metodene.

Samlet 1000-års regulert innløpsflom til Tinnsjøen framkommer som summen av 1000-års utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst, med kraftverkene Frøystul og Mår i drift, og 1000-års tilløpsflommen fra Tinnsjøen lokalfelt. Dette gir 1703 m³/s i døgntilsig og 1739 m³/s i kulminasjon.

Flomberegningen i 2005 konkluderte til sammenligning med 1946 m³/s i kulminasjonsverdi inn til Tinnsjøen. Foruten at utløpsflommene fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst den gang ble beregnet høyere enn i denne rapporten, hhv. 17 m³/s høyere for Møsvatn og 58 m³/s for Kalhovd-Gjøyst, kan årsaken til dette være at innløpsflommen den gang ble beregnet ved simpelthen å summere kulminasjonsverdiene til delflommene, mens innløpsflommen i denne rapporten er beregnet ved å overlagre delfeltshydrogrammene. Når disse så er forskjøvet i tid faller ikke kulminasjonstidspunktene samtidig, og samlet kulminasjonsverdi blir lavere enn om kulminasjonsverdiene fra hvert hydrogram ble summert direkte. Dersom kulminasjonsverdiene i denne rapporten summeres direkte blir maksimalvannføringen inn til Tinnsjøen 1985 m³/s.

Utløpsflommen fra Møsvatn er forøvrig nå beregnet med andre forutsetninger enn i 2005. I 2005 ble den ene flomtunnelen utelatt fra flomavledningskapasiteten, mens de andre flomavledningsorganene ble regnet å inngå med fulle kapasiteter. I denne beregningen er det lagt til grunn at flomavledningsorganene manøvreres for å redusere utløpsflommen mest mulig ned mot det nivået som en naturlig utløpsflom ville hatt. Dette kan synes unaturlig mhp. flomberegning for nedenforliggende dammer, men er i realiteten en tappestrategi som regulanten vil måtte følge under stor flom, fordi skadepotensialet nedstrøms i vassdraget er så ekstremt mye større enn oppstrøms i Møsvatn. Det er også nedfelt i manøvreringsreglementet for Møsvatn at «*tapping skal skje under hensyntagen til at vassdragets naturlige flomvannføring nedenfor magasinet ikke overskrides*». Å ikke benytte Møsvatn over HRV til flomdemping, vil derfor i praksis si et sammenfall av en 1000-års flom inn til Tinnsjøen samtidig med en ulykkeshendelse ved Møsvatn som gjør flomdemping umulig. Dette er i denne rapporten ansett som et for usannsynlig sammenfall.

Dog er den største flomverdien som er lagret i tilsigsserien til Tinnsjøen totalfelt (NVE-serie 16.23.0.1050 Kirkvoll Bru) på hele 1922 m³/s (juni 1927). Som innløpsflom til Tinnsjøen er imidlertid denne verdien villedende fordi den representerer momentant tilsig til totalfeltet og ikke vannføring inn til Tinnsjøen. Verdien er beregnet ved at observert vannføring ut av reguleringsmagasina simpelthen er korrigert for magasinendringene (for å gi uregulert tilsig) og deretter summert sammen til et totalt tilsig, men uten at flomdempingen i magasinene eller transportforsinkelsen ned til Tinnsjøen er tatt hensyn til. En enkel excel-beregning med data fra de angjeldende NVE-seriene⁸ bekrefter dette. Beregningsmetoden innebærer at flomtoppene blir overestimert, fordi delfeltshydrogrammene i virkeligheten vil være tidsforskjøvet ift. hverandre når de når Tinnsjøen.

For å få realistisk vannføring inn til Tinnsjøen må derfor flomdempingen og transportforsinkelsen tas hensyn til. Dette ble gjort i NVE-rapport 1-1984 (Ref. 18) hvor kulminasjonsvannføringen inn til Tinnsjøen for 1927-flommen ble beregnet til 1617 m³/s. I denne rapporten ble flere store flommer i Tinnsjøfeltet analysert. For innløpsflommer til Tinnsjøen ga rapporten følgende oppsummering:

«I de foreliggende beregningene er det antatt at 1000-års flommen inntreffer samtidig over hele nedbørfeltet. Alle de store flomsituasjonene som har vært analysert, viser at en slik antagelse er urimelig i et så vidt stort og topografisk sammensatt felt som Tinnsjøfeltet. Routingen av deltilsigene fra Møsvatn og Mår viser at de store magasinene forsinker flomtoppen så meget at kulminasjonsverdien til Tinnsjøen ikke øker vesentlig p.g.a. avløpet fra disse feltene. Derimot trekkes tilløpet betydelig ut i tid slik at flomtoppen blir vesentlig bredere.»

På bakgrunn av ovenstående anses derfor den beregnede 1000-års flomverdien på 1739 m³/s som troverdig og korrekt. Hvis 1617 m³/s legges til grunn som største observerte innløpsflom inn til Tinnsjøen, utgjør denne 93 % av den beregnede 1000-årsflommen. Dette anses som realistisk for 1927-flommen, stor som den var.

10.4.2 Vurdering av Q_{PMF}

Den påregnelig maksimale innløpsflommen til Tinnsjøen på 3165 m³/s framkommer som middelverdien av de to beskrevne beregningsmåtene, hhv.: (1) å overlagre påregnelige maksimale utløpsflommer fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst med påregnelig maksimal tilløpsflom fra Tinnsjøen lokalfelt, og (2) å fordele uregulert tilløpsflom for Tinnsjøen totalfelt ut på delfelta og deretter rute delflommene gjennom magasinene og slå utløpshydrogrammene sammen med lokaltilsiget nedenfor til samlet innløpshydrogram.

⁸ Med data fra NVE-serier 16.23.0.1001, 16.7.0.1004, 16.23.0.1004, 16.18.0.1004, 16.24.0.1004 og 16.26.0.1004.

Beregningsmåten avviker noe fra vanlig praksis der påregnelig maksimal flom for et nedenforliggende magasin normalt beregnes etter metode (2), men med uregulert tilløpsflom for totalfeltet beregnet vha. nedbør-avløpsmodell.

Det ble også forsøkt her, med bruk av PQRUT og HBV-modellen, men resultatene fra disse ga samme problem som ved bruk av nedbør-avløpsmodellene for Tinnsjøen lokalfelt. Flomstørrelsene fra PQRUT og HBV ble så urealistisk store at de måtte forkastes. Uregulert påregnelig maksimal tilløpsflom for Tinnsjøen totalfelt ble funnet til hhv. 7702 m³/s med PQRUT og 5926 m³/s med HBV, og tilhørende regulerte innløpsflommer til hhv. 4869 m³/s og 3746 m³/s (Vedlegg 4 og Vedlegg 5). Skaleres de uregulerte tilsigsverdiene f.eks. til Møsvatnfeltet gir dette innløpsflommer til Møsvatn på hhv. 3612 m³/s og 2780 m³/s, dvs. hhv. 180% og 140% av gjeldende PMF-verdi fra flomberegningen i 2019 (1998 m³/s). Resultatene fra nedbør-avløpsmodellene ble derfor også her vurdert til å være så urealistisk høye at de måtte forkastes.

Ift. NVEs vurderingskriterier for Q_{PMF} gir den beregnede innløpsflommen på 3165 m³/s:

$$Q_{PMF} / Q_{1000} = 3165 / 1739 = 1,83 \quad \text{dvs. innenfor kontrollintervallet } 1,5 - 3,0$$

$$(PMP + S) / P_{1000} = (592+182)/309 = 2,55 \quad \text{dvs. høyere enn } 1,83$$

$$F = (Q_{PMF} - Q_M) / SQ = (3165 - 179) / 214,6 = 13,9 \quad \text{dvs., innenfor kontrollintervallet } 12 - 15$$

Alle vurderingskriteriene unntatt $(PMP + S) / P_{1000}$ er altså oppfylt. At $(PMP + S) / P_{1000}$ kommer ut med en høyere skaleringsfaktor mellom Q_{PMF} og Q_{1000} enn det som er beregnet i denne rapporten tilskrives igjen at flomdempning i magasin og transportforsinkelse ned til Tinnsjøen gjør kulminasjonen inn til Tinnsjøen mindre enn hvis slike forhold ikke var til stede.

Det konkluderes derfor med at størrelsen på Q_{PMF} også er betryggende sammenlignet med Q_{1000} .

10.4.3 Endelig valgte flomstørrelser for Tinnsjøen totalfelt

De endelige flomverdiene inn til Tinnsjøen er dermed som vist i Tabell 42.

Tabell 42 Endelig valgte flomstørrelser inn til Tinnsjøen.

	Q_{1000} tilløp (m ³ /s)		Q_{PMF} tilløp (m ³ /s)	
	døgnmiddel	kulminasjon	døgnmiddel	kulminasjon
Lokaltilsig + utløp fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst.	1703 ^{*)}	1739 ^{*)}	3399 ^{**)}	3476 ^{**)}
Ureg. totaltilsig splittet på delfelt. Delflommer rutet gjennom Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst.			2828 ^{**)}	2853 ^{**)}
Endelig valgt flomstørrelse	1703	1739	3114	3165

^{*)} Flomdempning i Møsvatn til kote 919,5

^{**)} Full avledningskapasitet ut av Møsvatn

10.5 Klimakorreksjon

Ifølge NVEs rapport «*Klimaendring og framtidige flommer i Norge*» /Ref. 3 / kan fjellområder i Buskerud og Telemark forvente reduksjon i flomstørrelsene i framtida fordi økt temperatur vil gi mindre snø og dermed mindre vårflokker. NVE anbefaler derfor ikke å legge til noe klimapåslag ved flomberegninger i dette området. Det er derfor ikke lagt til noe klimapåslag i denne flomberegningen.

10.6 Datakvalitet – usikkerhetstillegg - sensitivitetsanalyse

Datakvaliteten anses her å ligge i kategori 2, dvs.: «brukbart hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget». Iht. Ref. 2 er det da ikke nødvendig med usikkerhetstillegg eller sensitivitetsanalyse.

Dog, siden de ulike beregningsmetodene gir ulike resultater og siden flere skjønnsmessige vurderinger har måttet gjøres i flomberegningene, er det likevel gjort en sensitivitetsanalyse der 1000-års tilløpsflommene som inngår i beregningene er justert hhv. -10%, +10% og +20%. Dette gir flomstørrelser som vist i Tabell 43.

Tabell 43 Flomstørrelser inn til Tinnsjøen ved skalering av innløpsflommene med -10%, +10% og +20%..

Kulminasjonsverdier (m ³ /s)				
	Tilslig fra Tinnsjøen lokalfelt	Utløp fra Møsvatn	Utløp fra Kalhovd-Gjøyst	Tilslig til Tinnsjøen
90 %	1067	371	294	1550
100 %	1186	475	322	1739
110 %	1304	573	363	1953
120 %	1423	699	399	2167

11 Flomruting og vannstandsstigninger

Avløpsflom og vannstandsstigning er så beregnet ved å rute de beregnede innløpsflommene gjennom Tinnsjøen.

11.1 Ruting gjennom Tinnsjøen

Kapasitetskurvene til Tinnsjøen og dam Tinnoset med alle lukene åpne er vist i Figur 13, og med lukesvikt i to luker i Figur 14. Magasinrutingen er her utført med kapasitetskurvene for Tinnsjøen som begrensende for utstrømningen, og vannstandene ved dammen funnet ved oppslag i kapasitetskurvene for dam Tinnoset for den aktuelle utløpsvannføring. Resultatet for Q_{1000} med alle luker åpne er vist i Figur 44, med lukesvikt i to luker i Figur 45, og for Q_{PMF} i Figur 46. Tabell 44 oppsummerer vannstandene og flomverdiene, samt endringene ift. flomberegningen fra 2005. Flomrutingene er vist i detalj i Vedlegg 6.

Tabell 44 Resultater av flomruting for Tinnsjøen.

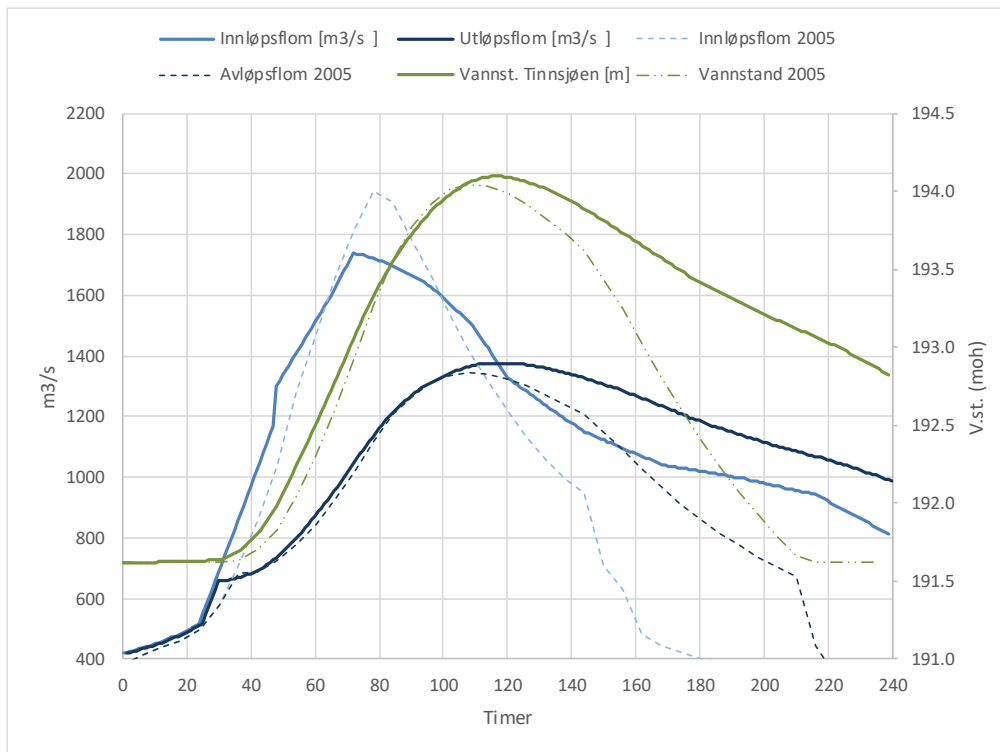
Flom	Luker åpne	Tilløpsflom [m ³ /s]	Avløpsflom [m ³ /s]	Vannstand Tinnsjøen [moh]	Vannstand Tinnoset [moh]	over HRV [m]	over krone ¹⁾ [m]
Q_{1000}	4 (alle åpne)	1739	1377	194.10	193.06	1.44	-3.01
Q_{PMF}	4 (alle åpne)	3165	2564	197.57	196.22	4.60	0.15
Q_{1000}	2 (lukesvikt)	1739	1328	194.82	194.15	2.53	-1.92
						1) krone eksklusiv brystning	
$Q_{1000, 2005}$	4 (alle åpne)	1946	1344	194.04	193.16	1.54	-2.91
$1,5 \times Q_{1000, 2005}$	4 (alle åpne)	2786	1888	195.78	194.67	3.05	-1.40

1) krone eksklusiv brystning

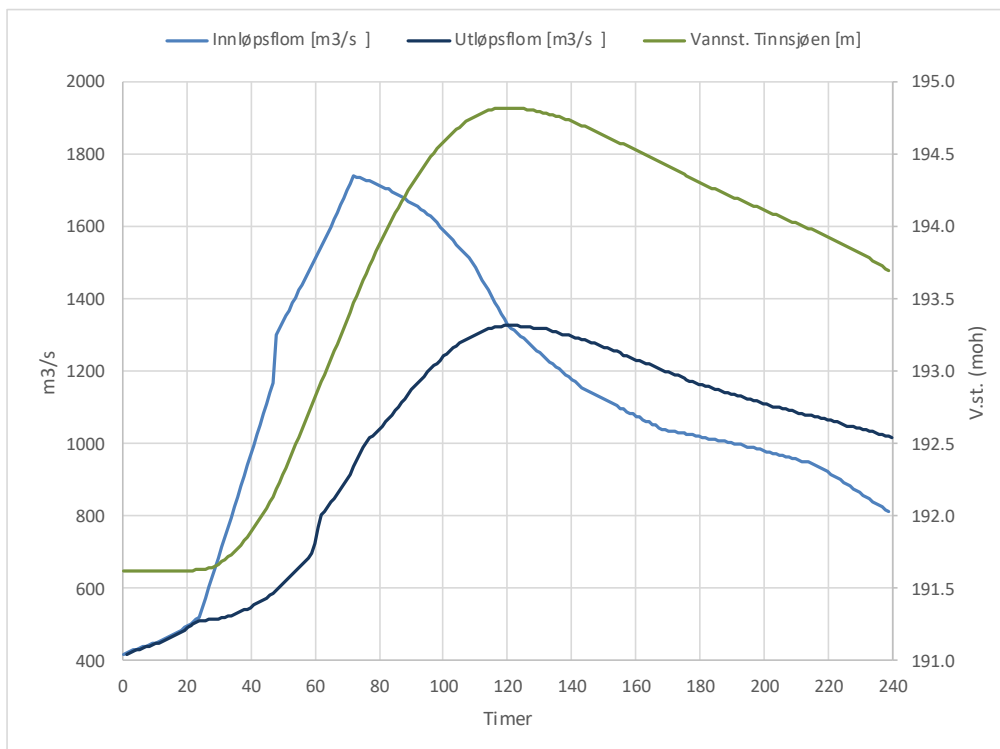
2005 høyder korrigert med 0,42 cm til NN1954 nivå.

$0,9 \times Q_{1000}$	4 (alle åpne)	1550	1234	193.59	192.62	1.00	-3.45
$1,1 \times Q_{1000}$	4 (alle åpne)	1953	1519	194.71	193.68	2.06	-2.39
$1,2 \times Q_{1000}$	4 (alle åpne)	2167	1717	195.30	194.25	2.63	-1.82

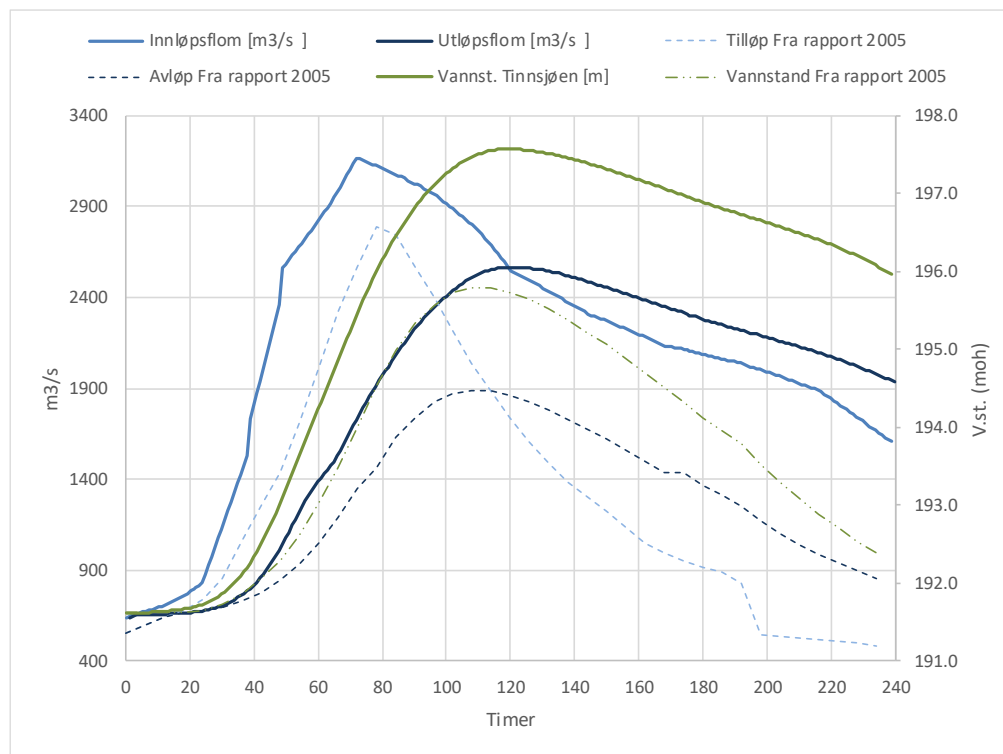
Q_{500}	4 (alle åpne)	1642	1308	193.82	192.80	1.18	-3.27
Q_{200}	4 (alle åpne)	1498	1193	193.45	192.53	0.91	-3.54
Q_{100}	4 (alle åpne)	1387	1100	193.18	192.34	0.72	-3.73



Figur 44 Ruting av Q_{1000} gjennom Tinnsjøen med alle luker åpne (flomberegning fra 2005 med stiplet strek).



Figur 45 Ruting av Q_{1000} gjennom Tinnsjøen med lukesvikt i to luker.



Figur 46 Ruting av Q_{PMF} gjennom Tinnsjøen (sammenlignet med ruting fra flomberegningen i 2005 med stiplet strek).

11.2 Dimensjonerende flommer for dammene i Måna og Tinnelva

Flomtilsigene til dammene i Måna er beregnet som summen av utløpsflommen fra Møsvatn og tilsig fra lokale felt nedenfor Møsvannsdammen. Bekkeinntak langs Møsvatnstrengen og på driftstunnelen til Mår er forutsatt stengt og tilsigsfeltene til disse er regnet inn i lokalfeltene. For dam Dale er i tillegg driftsvannføringen på 27 m³/s fra Mår lagt til. Det er ingen øvrige overføringer inn eller ut av feltene.

Utløpsflommene fra Møsvatn er beregnet som beskrevet i avsnitt 10.1 og i Ref. 15, dvs. med utløpsminimerende flommanøvrering opp til kote 919,5 (eller til innløpsflommen overstiger Q_{1000}) og med Frøystul kraftverk i drift og Vemork og Såheim kraftverk stengt. Bekkeinntak langs Rjukanstrengen er regnet som stengt. For dam Dale er også Mæl kraftverk regnet som stengt.

Flomtilsigene fra lokalfelta er skalert fra tilsigene som er beregnet for Tinnsjøen lokalfelt (kapittel 9), ut ifra forskjell i areal og midlere spesifikk avrenning. Det er ikke regnet med magasinfordrøyning ved noen av dammene, dvs. tilløpsflom er lik utløpsflom, og vannstandene på dammene for de beregnede vannføringer er tatt direkte ut fra kapasitetskurvene.

Flomtilsaget til Tinnsjøen og dam Tinnoset er beskrevet i foregående kapittel. Vannstand og utløpsflom er her beregnet ved magasinruting gjennom Tinnsjøen, med bruk av kapasitetskurver som tar hensyn til falltap i tilløpskanalen fra Tinnsjøen ned til Tinnoset og oppstuvningseffekt fra elveløpet nedstrøm Tinnosdammen.

Flomtilsigene til dammene i Tinnelva er beregnet som utløpsflommen fra Tinnsjøen pluss tilsig fra lokale felt nedstrøms. Også her er lokaltilsigene skalert fra Tinnsjøens lokalfelt ut ifra forskjell i areal og midlere spesifikk avrenning, og det er ikke regnet med magasinfordrøyning ved noen av dammene.

De resulterende dimensjonerende flomstørrelser for dammene i Måna og Tinnelva er vist i Tabell 45. I Tabell 46 er vist de tilhørende vannstandsstigningene på dammene. Differanse mot forrige flomberegning er vist til sammenligning.

Tabell 45 Dimensjonerende tilløpsflommer til de enkelte dammene i bruddgrensetilstanden.

Elv	Dam	Kl	Q _{dim}	Utløpsflom fra oppstr. magasin [m ³ /s]	Tilslig fra Tinnsjøen lokalfelt(1602 km ²) [m ³ /s]	Lokalfelt dam [km ²]	spes. avr. [l/skm ²]	Skaleringsfaktor lokaltilslig	Lokaltilslig til dam [m ³ /s]	Totaltilslig til dam [m ³ /s]	Forrige flomberegning.
Måna	Skarsfoss	4	Q ₁₀₀₀	475 ¹⁾	1186	39	30.09	0.029	34	509	558 91 %
	Krokan	1	Q ₅₀₀	410 ¹⁾	1121	77	31.15	0.059	66	476	553 86 %
	Mæland	1	Q ₅₀₀	410 ¹⁾	1121	155	32.27	0.123	138	548	581 94 %
	Dale	1	Q ₅₀₀	437 ²⁾	1121	184	32.12	0.146	163	600	623 96 %
Tinnåi	Tinnsjøen			553 ³⁾	1186	1602	25.3	1.000	1186	1739	1946 89 %
	Tinnoset	3	Q ₁₀₀₀	1377						1377	1344 102 %
	Årlifoss	2	Q ₁₀₀₀	1377	1186	93	16.74	0.038	46	1423	1381 103 %
	Grønnvollfoss	2	Q ₁₀₀₀	1377	1186	151	13.99	0.052	62	1439	1398 103 %
	Svelgfoss	3	Q ₁₀₀₀	1377	1186	334	12.46	0.103	122	1499	1483 101 %
	Tinfos-I ⁴⁾	2	Q ₁₀₀₀	1377	1186	345	12.33	0.105	125	1502	1407 107 %
	Tinfos-II	1	Q ₅₀₀	1284	1121	345	12.33	0.105	118	1402	1407 100 %

1) Utløp fra Møsvatn beregnet med forutsetning om flomdemping opp til kote 919,5 (som beskrevet i Ref.14). Frøstul kraftverk i drift og Vernork og Såheim kraftverk stengt.

2) Utløp fra Møsvatn + driftsvannføring Mår. Mæl kraftverk stengt.

3) Utløp fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst på kulminasjonstidspunktet for innløpsflommen til Tinnsjøen.

4) Tinfos-I hadde 500-årsflom som dimensjonerende flom i forrige flomberegning.

Tabell 46 Dimensjonerende vannstandsstigninger og avløpsflommer i bruddgrensetilstanden.

Dam	Kl.	Q _{dim}	Tilslig [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]	Forrige flomberegning	økning ift. forrige
Skarsfoss	4	Q ₁₀₀₀	509	509	858.56	857.10	1.46	859.15	-0.59	858.55	0.01
Krokan	1	Q ₅₀₀	476	476	696.53	692.50	4.03	692.50	4.03	696.35	0.18
Mæland	1	Q ₅₀₀	548	548	284.56	282.60	1.96	283.60	0.96	284.34	0.22
Dale	1	Q ₅₀₀	600	600	236.39	236.00	0.39	238.00	-1.61	236.44	-0.05
Tinnsjøen			1739	1377	194.09	191.62	2.47	196.07	-1.98	194.04	0.05
Tinnoset	3	Q ₁₀₀₀	1377	1377	193.06	191.62	1.44	196.07	-3.01	193.16	-0.10
Årlifoss	2	Q ₁₀₀₀	1423	1423	162.76	161.60	1.16	163.50	-0.74	161.69	1.07
Grønnvollfoss ¹⁾	2	Q ₁₀₀₀	1439	1439	144.50	144.50	0.00	146.40	-1.90	143.84	0.66
Svelgfoss ²⁾	3	Q ₁₀₀₀	1499	1499	117.83	116.40	1.43	117.85	-0.02	117.85	-0.02
Tinfos-I ³⁾	2	Q ₁₀₀₀	1502	1502	48.66	47.00	1.66	49.00	-0.34	48.06	0.60
Tinfos-II	1	Q ₅₀₀	1402	1402	48.27	47.00	1.27	47.60	0.67	47.83	0.44

1) Maksimal flomavledningskapasitet gir her vannstand 143.94, men pga. at lukene reguleres vil vannstanden holdes på 144,50.

2) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. Q1000 ga da vannstand 117,85 mot tidligere 119,19.

3) Tinfos-I fikk ombygd fyllingsdammer og lukedam til innløp Tinfos-II i 2015. Q1000 ga da v.st 48,06 mot 47,96 før 2015 og 47,72 før omklassifisering i 2006.

Kommentar:

Lukene på Grønnvollfoss reguleres hele tiden slik at vannstanden holdes på HRV (normalvannstanden). Ved en dimensjonerende flom er flomavledningskapasiteten (ved HRV) større enn tilsliget. DfV for dammen settes derfor lik HRV.

11.3 Påregnelig maksimale flommer for dammene i Måna og Tinnelva

Påregnelig maksimale flomstørrelser og tilhørende vannstandsstigninger for dammene i Måna og Tinnelva er vist i Tabell 47 og Tabell 48.

Tabell 47 Dimensjonerende tilløpsflommer til de enkelte dammene i ulykkesgrensetilstanden.

Elv	Dam	Kl	Q _{dim}	Utløpsflom fra oppstr. magasin [m ³ /s]	Tilsg fra Tinnsjøen lokalfelt(1602 km ²) [m ³ /s]	Lokalfelt dam [km ²]	spes. avr. [l/skm ²]	Skaleringsfaktor lokaltilsg	Lokaltilsg til dam [m ³ /s]	Totaltilsg til dam [m ³ /s]	Forrige flomberegning.
Måna	Skarsfoss	4	Q _{PMF}	1363 ¹⁾	2253	39	30.09	0.029	65	1428	1246 115 %
	Krokan	1	1,5xQ ₅₀₀	590 ¹⁾	1682	77	31.15	0.059	100	690	712 97 %
	Mæland	1	1,5xQ ₅₀₀	590 ¹⁾	1682	155	32.27	0.123	207	797	747 107 %
	Dale	1	1,5xQ ₅₀₀	617 ²⁾	1682	184	32.12	0.146	245	862	791 109 %
Tinnåi	Tinnsjøen	3		912 ³⁾	2253	1602	25.3	1.000	2253	3165	2786 114 %
	Tinnoset	3	Q _{PMF}	2564						2564	1888 136 %
	Årlifoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2243	1779	93	16.74	0.038	68	2311	1943 119 %
	Grønnvollfoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2243	1779	151	13.99	0.052	93	2336	1966 119 %
	Svelgfoss	3	Q _{PMF}	2564	2253	334	12.46	0.103	231	2795	3173 88 %
	Tinfos-I ⁴⁾	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2243	1779	345	12.33	0.105	187	2430	2098 116 %
	Tinfos-II	1	1,5 x Q ₅₀₀	2045	1682	345	12.33	0.105	177	2222	

1) Utløp fra Møsvatn beregnet med forutsetning om flomdemping opp til kote 919,5 (som beskrevet i Ref.14). Frøystul kraftverk i drift og Vemork og Såheim kraftverk stengt.

2) Utløp fra Møsvatn + driftsvannføring Mår. Mæl kraftverk stengt.

3) Utløp fra Møsvatn og Kalhovd-Gjøyst på kulminasjonstidspunktet for innløpsflommen til Tinnsjøen.

4) Tinfos-I hadde 1,5 x Q₅₀₀ som ulykkesflom i forrige flomberegning.

Tabell 48 Resulterende vannstandsstigninger og avløpsflommer i ulykkesgrensetilstanden.

Dam	Kl.	Q _{dim}	Totaltilsg til dam [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]	Forrige flomberegning	økning ift. forrige
Skarsfoss	4	Q _{PMF}	1428	1428	860.56	857.10	3.46	859.15	1.41	859.57	0.99
Krokan	1	1,5 x Q ₅₀₀	690	690	697.66	692.50	5.16	692.50	5.16	697.06	0.60
Mæland	1	1,5 x Q ₅₀₀	797	797	286.06	282.60	3.46	283.60	2.46	284.85	1.21
Dale	1	1,5 x Q ₅₀₀	862	862	238.12	236.00	2.12	238.00	0.12	237.83	0.29
Tinnsjøen			3165	2564	197.56	191.62	5.94	196.07	1.49	195.78	1.78
Tinnoset	3	Q _{PMF}	2564	2564	196.22	191.62	4.6	196.07	0.15	194.67	1.55
Årlifoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2311	2311	166.51	161.60	4.91	163.50	3.01	163.43	3.08
Grønnvollfoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2336	2336	145.50	144.50	1	146.40	-0.90	144.86	0.64
Svelgfoss ¹⁾	3	Q _{PMF}	2795	2795	120.91	116.40	4.51	117.85	3.06	121.50	-0.59
Tinfos ²⁾	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2430	2430	50.08	47.00	3.08	49.00	1.08	49.72	0.36
Tinfos-II	1	1,5 x Q ₅₀₀	2222	2222	49.87	47.00	2.87	47.60	2.27	49.64	0.23

1) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. Q₁₀₀₀ ga da vannstand 121,50 mot tidligere 122,07.

2) Tinfos-I fikk ombygd fyllingsdammer og lukedam til innløp Tinfos-II i 2015. 1,5 x Q₁₀₀₀ ga da v.st 49.72 mot 48,93 før 2015.

11.4 Tilstopping

Alle dammene ligger lavere enn tregrensa og risikerer derfor at trær og annet drivgods kan flyte ned under flom. Iht. NVEs retningslinjer skal da vannstandsstigningene kontrolleres for situasjoner der flomløpene er tilstoppet. Dog er det antatt at overløp og luker med bredde over 15 meter og strømningdybde større enn

1,0 meter ikke har sannsynlighet for å kunne tilstoppes. For luker mellom 12 og 15 meter som har strømningsdybde større enn 5 meter er det også ansett som usannsynlig at trær e.l. kan kile seg fast. Dette gjelder for eksempel segmentluke 1 i Årlifoss. I tillegg er det ikke regnet med tilstopping ved dammene som har lense for drivgods utlagt oppstrøms. Dette gjelder ved Tinnoset, Årlifoss, Grønnvollfoss, og Svelgfoss.

Dam Tinfos-I er et tvilstilfelle. Dammen har ikke lense, men en kabel med flytemarkører like ovenfor dammen som vil fange opp evt. flytende trær og drivgods. Dessuten har dam Svelgfoss, som ligger i kort avstand oppstrøms, en lense som stanser alt drivgods som kommer dit. Strekningen fra Svelgfoss til Tinfos er kort, og kun i nedre del står det trær inntil elva som potensielt kan rives med under flom. Mengden drivgods som kan komme ned på dam Tinfos-I kan derfor sannsynligvis ikke bli stor. NVE har tidligere heller ikke anført krav om å regne med tilstopping ved godkjenning av revurderinger (sist i 2010) eller de nye planene for ombygging (2013). Dog, siden kabelen med flytemarkørene ikke er å regne som en fullverdig lense, og siden medrivning av trær ikke helt kan utelukkes, og siden lukeåpningene er mindre enn 12 meter, er det likevel gjort beregning for 25 % tilstopping av segmentlukene for dam Tinfos-I, for å vise hva dette betyr for vannstandsstigningen på dammen.

Tabell 49 oppsummerer hvilke vurderingskriterier og tilstopningsgrader som er brukt ved de ulike dammene. Tabell 50 viser de tilhørende beregnede vannstandsstigningene ved tilstopping.

Tabell 49 Mulig tilstopningsgrad ved dammene i Måna og Tinnelva.

Dam	Luker/overløp	bredde (m)	Strømningsdybde o/terskel v/ Qdim (m)	Lense	Tilstopping
Skarsfoss	10 stk frie gjennomløp	15.3	1.2		0 %
Krokan	Fritt overløp	34.0	4.1		0 %
Mæland	overløpsmur	20.0	1.6		0 %
	4 stk rulleluker	5.0	4.1		25 %
	segmentluke	15.0	4.6		0 %
Dale	2 stk segmentluker	19.0	5.6		0 %
Tinnoset	4 stk segmentluker	16.4	5.4 - 6.8	Ja	0 %
Årlifoss	segmentluke	14.0	6.6	Ja	0 %
	klappeluke	13.5	1.6		0 %
	segmentluke	16.0	5.8		0 %
Grønnvollfoss	9 stk glideluker	4.5	2.9	Ja	0 %
	segmentluke	13.0	3.2		0 %
	valseeluke	20.0	3.5		0 %
	reguleringsluke (dykket)	5.0	5.0		0 %
	2 stk fallluker	7.0	1.2		0 %
Svelgfoss	segmentluke2	20.0	7.7	Ja	0 %
	fritt overløp	28.3	2.3		0 %
	segmentluke1	20.0	5.9		0 %
Tinfos-I	4 stk segmentluker	10.8	4.3	Nei ¹⁾	25 %
Tinfos-II					

1) Tinfos-I har kabel med markeringsbøyer strukket over inntaksmagasinet. I tillegg har Svelgfoss kort oppstrøms lense.

Tabell 50 Vannstandsstigninger og avløpsflommer i situasjoner med tilstopping.

Dam	Kl.	Qdim	Tilsgig [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]
Skarsfoss									
Krokan									
Mæland	1	Q ₅₀₀	548	548	284.90	282.60	2.30	283.60	1.30
Dale									
Tinnsjøen									
Tinnoset									
Årlifoss									
Grønnvollfoss									
Svelgfoss									
Tinfos-I ¹⁾	2	Q ₁₀₀₀	1502	1502	49.49	47.00	2.49	49.00	0.49
Tinfos-II ²⁾	1	Q ₅₀₀	1402	1402	49.34	47.00	2.34	47.60	1.74

1) kapasitetskurve etter byggetrinn 1 i 2015

2) Rulleluka som nødlukker ved v.st. 47,6 hindrer overtopping av dam Tinfos II. Gammelt inntak 500 m. oppstrøms fungerer som lense for rulleluka.

11.5 Lukesvikt

Iht. NVEs retningslinjer skal vannstandsstigningen ved kontrollflom i ulykkesgrensetilstanden vurderes opp mot vannstandsstigningen når dimensjonerende flom i bruddgrensetilstanden kombineres med lukesvikt. For dammer med flere flomluker spesifiserer damsikkerhetsforskriften at følgende situasjoner skal legges til grunn:

Antall flomluker (n):	Full svikt på:
1-3	en luke
4-6	to luker
n ≥ 7	tre luker

Forskriften beskriver ikke hvilke luker det skal regnes svikt i, men det er naturlig å regne svikt i den/de luke(r) som vurderes som mest utsatt for funksjonssvikt, og blant disse den/de luke(r) som gir størst konsekvens for vannstandsstigningen (dvs. lukene som har størst kapasitet). Dog, for dammer med kun noen få hovedluker og ellers mange småluker, er det vurdert som urimelig å regne svikt i alle hovedlukene og ingen av smålukene. Det er da gjort et realistisk utvalg av store og små luker som det regnes svikt for.

I denne beregningen er det kun for Grønnvollfoss at valget av luker for lukesvikt et vurderings spørsmål. Dammen har tre hovedluker med kapasiteter fra 170 til 450 m³/s og 11 småluker med kapasiteter mellom 60 og 100 m³/s. Alle lukene har mekanismer for nødopptrekk. Glidelukene manøvreres med to uavhengige taljer som løper over hele seksjonens lengde, der begge taljene kan manøvrere alle lukene. For de andre lukene har dammen et fast nødstrømsaggregat som starter automatisk ved strømutfall og gir strøm til alle dammens funksjoner. Segmentluka har i tillegg nødopptrekk ved at hovedsylinderen kan kjøres med et mobilt nødstrømsaggregat, og ved at luka også kan åpnes med en reservesylinder drevet av et mobilt hydraulisk aggregat hvis hovedsylinderen svikter. Tilsvarende kan vasseluka og reguleringsluka åpnes vha. reserveopptrekk drevet av mobile aggregater hvis hovedopptrekkene svikter

Iht. en ulykkesituasjon der det skal regnes med svikt i tre luker er det vurdert som for ekstremt å regne svikt i alle hovedlukene og ingen av smålukene. Det er derfor i stedet regnet svikt i to hovedluker og ei glideluke. Segmentluka, som har dobbel løsning for nødopptrekk, regnes som den mest robuste av hovedlukene og

det er derfor valgt å ikke regne med svikt i denne. I stedet er det regnet med svikt i valse Luke, reguleringsluke og i ei av glidelukene.

Tabell 51 oppsummerer lukesviktsituasjonene som er lagt til grunn i denne rapporten, og Tabell 52 de beregnede vannstandsstigningene. Det framgår at ingen av dammene får høyere vannstandsstigning i situasjonen med dimensjonerende flom og lukesvikt, enn ved kontrollflommen i ulykkesgrensetilstanden.

Tabell 51 Lukesvikt ved dammene i Måna og Tinnelva.

Dam	Luker/overløp	bredde (m)	kapasitet ved HRV (m ³ /s)	Lukesvikt
Skarsfoss	10 stk frie overløp	15.3	0	
Krokan	fritt overløp	34.0	0	
Mæland	4 stk rulleluker segmentluke	5.0 15.0	95 80	svikt i 1 luke svikt
Dale	2 stk segmentluker	19.0	528	svikt i 1 luke
Tinnoset	4 stk segmentluker	16.4	698	svikt i 2 luker
Årlifoss	segmentluke 1 klappeluke segmentluke 2	14.0 13.5 16.0	576 36 514	svikt
Grønnvollfoss	9 stk glideluker segmentluke valseluke reguleringsluke 2 stk fallluker	4.5 13.0 20.0 5.0 7.0	830 245 465 144 56	svikt i 1 luke svikt svikt
Svelgfoss	segmentluke2 fritt overløp segmentluke1	20.0 28.3 20.0	711 0 290	svikt
Tinfos-I	4 stk segmentluker	10.8	1111	svikt i 2 luker
Tinfos-II				

Tabell 52 Vannstandsstigninger og avløpsflommer i situasjoner med lukesvikt.

Dam	Kl.	Qdim	Tilsg [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]	Forrige flom-beregn	økning ift. forrige
Skarsfoss											
Krokan											
Mæland	1	Q ₅₀₀	548	548	286.05	282.60	3.45	283.60	2.45	284.96	1.09
Dale	1	Q ₅₀₀	600	600	237.91	236.00	1.91	238.00	-0.09	238.79	-0.88
Tinnsjøen			1739	1377	194.96	191.62	3.34	196.07	-1.11	194.65	0.31
Tinnoset	3	Q ₁₀₀₀	1377	1377	194.28	191.62	2.66	196.07	-1.79	193.69	0.59
Årlifoss	2	Q ₁₀₀₀	1423	1423	165.60	161.60	4	163.50	2.10	164.82	0.78
Grønnvollfoss	2	Q ₁₀₀₀	1439	1439	145.42	144.50	0.92	146.40	-0.98	144.73	0.69
Svelgfoss	3	Q ₁₀₀₀	1499	1499	120.23	116.40	3.83	117.85	2.38	121.08	-0.85
Tinfos-I ¹⁾	2	Q ₁₀₀₀	1502	1502	49.77	47.00	2.77	49.00	0.77	49.90	-0.13
Tinfos-II ²⁾	1	Q ₅₀₀	1402	1402	49.66	47.00	2.66	47.60	2.06	49.80	-0.14

1) Vannstanden beregnet iht. ny Q₁₀₀₀ og kapasitetskurve etter byggetrinn 1 i 2015.

2) Rulleluke som nødluker ved vannstand 47,6 stenger for overtopping av dam Tinfos II. Gammelt inntak ca 500 meter oppstrøms fungerer da som lense for drivdags til rulleluke.

11.6 Sensitivitetsanalyse

Sensitiviteten til beregningene er vurdert ved å variere tilløpsflommene (for hele vassdraget) med +/- 10 % og C-koeffisientene for dammenes flomorganer (ikke overløp på sidene, over gangbaner, etc.) med +/- 5 %.

Tabell 53 viser vannstandsendinger for dammene ved 10 % endring i dimensjonerende tilløpsflommer i bruddgrensetilstanden. Det bemerkes at 10 % endring i tilløpsflommene her gjelder tilløpsflommene i hele vassdraget. Delflommene til Møsvatn og Mår-Kalhovd-Gjøyst er således skalert med 10 % og rutet på nytt til nye utløpsflommer, og nye innløpshydrogrammer til Tinnsjøen er deretter beregnet og rutet gjennom denne. Endringene i innløpsflommene ved den enkelte dam, kan således være forskjellig fra +/- 10 %.

Tabell 53 Vannstandsendinger ved +/- 10% i dimensjonerende tilløpsflom.

Dam	Kl.	Qdim + 10% (m ³ /s)	Qdim - 10% (m ³ /s)	Vannstands økning ved + 10%	Vannstands økning ved - 10%
Skarsfoss	4	611	402	+0.19	-0.22
Krokan	1	583	388	+0.58	-0.52
Mæland	1	662	452	+0.70	-0.49
Dale	1	717	502	+0.64	-0.53
Tinnsjøen		1510	1250	+0.58	-0.46
Tinnoset	3	1510	1250	+0.59	-0.40
Årlifoss	2	1560	1291	+0.65	-0.51
Grønnvollfoss	2	1578	1306	+0.26	-0.26
Svelgfoss	3	1644	1360	+1.06	-0.36
Tinfos ¹⁾	2	1647	1362	0.45	-0.88
Tinfos-II	1	1538	1272	0.52	-0.77

1) kapasitetskurve etter byggetrinn 1 i 2015

Det er naturlig ved magasinruting at store flommer dempes mindre enn små. En gitt skalering av innløpsflommen vil derfor naturlig gi en litt større relativ endring i utløpsflommen. Denne virkningen forsterkes i dette tilfellet pga. tappestrategien som er brukt i Møsvatn, der samme vannstandsstigning blir brukt til flomdempning for alle flomstørrelser. Å utnytte denne vannstandsstigningen i en tappestrategi bidrar sterkt til å redusere utløpsflommens maksimalverdier, men siden dempningsvolumet er likt uavhengig av flomstørrelse, blir dempningsgraden mindre jo større flommene blir. +/- 10 % endring i tilløpsflommene gir derfor større prosentvise endringer i utløpsflommene enn om utløpsflommene fra Møsvatn kun var styrt av en kapasitetskurve der store flommer fikk høyere flomstigning enn små flommer. Tappestrategien gjør mao. at utløpsflommene minimeres, men også at de blir mer sensitive for endringer i innløpsflommens størrelse. Vannstandsendingene for dammene nedstrøms Møsvatn blir dermed også noe større enn hvis tappestrategien ikke hadde vært brukt. En fast avløpskapasitetskurve eller en tappestrategi der flomstigningen fikk variere med størrelsen på innløpsflommen, kunne gitt mindre relative endringer i utløpsflommene og mindre vannstandsendinger på dammene nedstrøms.

Dog, med den valgte tappestrategien ut av Møsvatn, viser sensitivitetsanalysen at +/- 10% endring i tilløpsflommen gir vannstandsendinger på +/- 20 – 25 cm for dammene Skarsfoss og Grønnvollfoss, mens Krokan, Mæland, Dale, Tinnoset, Årlifoss og Tinfos får vannstandsøkninger på 60 - 70 cm ved 10%

flomøkning og vannstandsreduksjoner på 40 - 50 cm ved 10% flomreduksjon (bortsett fra Tinfos-I og II som får reduksjoner på hele 88 og 77 cm ved 10% flomreduksjon fordi en da akkurat unngår dykking av lukene). Svelgfoss får vannstandsreduksjon på 36 cm ved 10% flomreduksjon, men hele 1,06 meter økning ved 10% økning i flomstørrelse. Årsaken er at innløpsflommen da akkurat blir stor nok til at segmentlukene i Svelgfoss dykkes. Kapasiteten til lukene går da ned, og vannstanden må øke relativt mye for å avlede vannføringen.

Tabell 54 viser vannstandsending for dammene ved +/- 5 % endring i C-koeffisientene.

Tabell 54 Vannstandsendinger ved +/- 5 % i C-koeffisienter.

Dam	Kl.	Qdim	Vannstands økning ved + 5 %	Vannstands økning ved - 5 %
Skarsfoss	4	509	-0.05	+0.05
Krokan	1	480	-0.13	+0.14
Mæland	1	548	-0.12	+0.13
Dale	1	600	-0.02	+0.04
Tinnsjøen		1377	-0.22	+0.23
Tinnoset	3	1377	-0.18	+0.19
Årlifoss	2	1423	-0.24	+0.27
Grønnvollfoss	2	1439	-0.16	+0.09
Svelgfoss	3	1499	-0.15	+0.99
Tinfos ¹⁾	2	1502	-0.27	+0.26
Tinfos-II	1	1402	-0.57	+0.29

1) kapasitetskurve etter byggetrinn 1 i 2015

Med unntak for dammene Årlifoss, Svelgfoss og Tinfos viser tabellen at de øvrige dammene er relativt lite sensitive for variasjon i C-faktorene, med vannstandsendinger på ca. 20 cm eller mindre. For dammene Mæland, Dale og Tinnoset er dessuten vannivået bestemt av oppstuvningseffekten nedenfra mer enn av C-faktoren i flomløpene. Sensitivitetene som er beregnet for disse dammene reflekterer dermed variasjon i elveløpets ruhet snarere enn i C-faktor i sjølve flomløpene. Disse sensitivitetene antas derfor å være overdrevne ift. om bare C-faktor i flomløpene ble variert. I Ref. 7 ble f.eks. vannstandsendingen i Tinnoset ved en endring av lukenes C-faktor fra 1,7 til 1,4 beregnet til kun 8 cm for en vannføring på 1400 m³/s.

Dam Årlifoss og Tinfos får imidlertid noe større vannstandsstigninger hvis C-faktorene reduseres, og dam Svelgfoss vesentlig større vannstandsstigning. Årsaken for Svelgfoss er igjen at segmentlukene i denne dammen dykkes. 5 % reduksjon i C-faktorene gir da akkurat så mye lavere flomavledningskapasitet i lukene, at vannstandsstigningen når opp til det nivået der lukene dykkes og avledningskapasiteten reduseres ytterligere. Motsatt effekt får en for Tinfos-II hvis C-faktoren økes 5%. Kapasiteten øker da nok til at man unngår lukedykking.

11.7 Flommer med andre gjentaksintervall

I tillegg til Q₁₀₀₀ og Q_{PMF} er det beregnet flomstørrelser med gjentaksintervall 500, 200, 100, 50, 20, 10 og 5 år. 1000-års tilløpsflommene til Møsvatn, Mår og Kalhovd-Gjøyst ble da skalert ned med forholdstallet mellom sine T-års og 1000-års flomverdier og rutet på nytt for å gi tilhørende utløpsflommer fra magasina, mens 1000-års flomverdien fra Tinnsjøen lokalfelt ble skalert ned og brukt direkte. De samme

forutsetningene som ble brukt for dimensjonerende flommer i avsnitt 11.2 ble lagt til grunn, dvs. flomdempning opp til kote 919,5 i Møsvatn, og Frøystul, Stegaros og Mår kraftverk i drift.

Resultatene er oppsummert i Tabell 55 nedenfor.

Tabell 55 Flommer med andre gjentaksintervall.

	T=1000 år			T=500 år			T=200 år			T=100 år		
	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)
Mårvatn ¹⁾	199	134	1122.37	185	124	1122.32	168	110	1122.24	155	101	1122.17
Kalhovd-Gjøyst ²⁾	381	329	1087.65	354	303	1087.59	318	272	1087.52	292	246	1087.46
Møsvatn ³⁾	804	475	919.50	763	410	919.50	708	345	919.50	666	294	919.50
Skarsfoss	509	509	858.56	442	442	858.43	373	373	858.28	320	320	858.17
Krokan	545	545	696.91	476	476	696.53	403	403	696.10	347	347	695.76
Mæland	621	621	285.02	548	548	284.56	466	466	284.14	404	404	283.83
Dale ⁴⁾	675	675	236.77	600	600	236.39	515	515	235.92	451	451	235.58
Tinnsjøen	1739	1377	194.09	1608	1284	193.74	1432	1150	193.32	1302	1045	193.00
Tinnoset	1377	1377	193.06	1284	1284	192.74	1150	1150	192.44	1045	1045	192.21
Årlifoss	1423	1423	162.76	1327	1327	162.39	1188	1188	161.84	1079	1079	161.39
Grønnvollfoss	1439	1439	143.94	1343	1343	143.76	1201	1201	143.47	1091	1091	143.25
Svelgfoss	1499	1499	117.83	1400	1400	117.57	1250	1250	117.16	1136	1136	116.82
Tinfos-I ⁵⁾	1502	1502	48.66	1402	1402	48.28	1253	1253	47.44	1138	1138	47.08
Tinfos-II	1502	1502	48.66	1402	1402	48.28	1253	1253	47.44	1138	1138	47.08

	T=50 år			T=20 år			T=10 år			T=5 år		
	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)	Innløp (m ³ /s)	Utløp (m ³ /s)	V.st. (moh)
Mårvatn ¹⁾	142	92	1122.11	124	79	1122.02	110	68	1121.95	96	58	1121.87
Kalhovd-Gjøyst ²⁾	266	224	1087.41	231	191	1087.32	204	167	1087.26	177	142	1087.18
Møsvatn ³⁾	622	249	919.51	562	200	919.50	513	165	919.50	460	133	919.50
Skarsfoss	272	272	858.06	220	220	857.93	182	182	857.83	147	147	857.73
Krokan	296	296	695.43	240	240	695.05	200	200	694.76	163	163	694.46
Mæland	348	348	283.56	284	284	283.27	238	238	283.03	195	195	282.76
Dale ⁴⁾	393	393	235.26	326	326	234.91	278	278	234.62	233	233	234.32
Tinnsjøen	1173	947	192.69	1009	832	192.31	876	751	192.01	733	677	191.71
Tinnoset	947	947	191.98	832	832	191.69	751	751	191.45	677	677	191.20
Årlifoss	978	978	160.95	859	859	160.41	774	774	160.00	696	696	159.60
Grønnvollfoss	989	989	143.02	868	868	142.75	782	782	142.53	703	703	142.33
Svelgfoss	1029	1029	116.47	902	902	115.97	812	812	115.60	729	729	115.24
Tinfos-I ⁵⁾	1031	1031	46.73	904	904	46.30	813	813	45.98	730	730	45.67
Tinfos-II	1031	1031	46.73	904	904	46.30	813	813	45.98	730	730	45.67

1) Stegaros kraftverk i drift (12 m³/s)

2) Mår kraftverk i drift (27 m³/s)

3) Flomdempning opp til kote 919,5. Frøystul kraftverk i drift (75 m³/s)

4) Innløp = tilsig i Måna + tapping i Mår kraftverk (27 m³/s). Mæl kraftverk stengt.

5) kapasitetskurve etter byggetrinn 1 i 2015

11.8 Oppsummering

Som endelig resultat av flomberegningene i bruddgrensetilstanden er valgt vannstandsstigningene ved dimensjonerende innløpsflom og med 25% tilstopping av de flomløp der dette er vurdert som mulig (dvs. i dam Mæland og Tinfos-I og II). Tabell 56 oppsummerer resultatene.

Tabell 56 Dimensjonerende flomstørrelser i bruddgrensetilstanden.

Dam	Kl.	Qdim	Tilslig [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Tilstopping	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]	Forrige flom-beregning.	økning ift. forrige
Skarsfoss	4	Q ₁₀₀₀	509	509	Nei	858.56	857.10	1.46	859.15	-0.59	858.55	0.01
Krokan	1	Q ₅₀₀	476	476	Nei	696.53	692.50	4.03	692.50	4.03	696.35	0.18
Mæland	1	Q ₅₀₀	548	548	Ja (25% i rullelukene)	284.90	282.60	2.30	283.60	1.30	284.34	0.56
Dale	1	Q ₅₀₀	600	600	Nei	236.39	236.00	0.39	238.00	-1.61	236.44	-0.05
Tinnsjøen			1739	1377		194.09	191.62	2.47	196.07	-1.98	194.04	0.05
Tinnoset	3	Q ₁₀₀₀	1377	1377	Nei	193.06	191.62	1.44	196.07	-3.01	193.16	-0.10
Årlifoss	2	Q ₁₀₀₀	1423	1423	Nei	162.76	161.60	1.16	163.50	-0.74	161.69	1.07
Grønnvollfoss ¹⁾	2	Q ₁₀₀₀	1439	1439	Nei	144.50	144.50	0.00	146.40	-1.90	143.84	0.66
Svelgfoss ²⁾	3	Q ₁₀₀₀	1499	1499	Nei	117.83	116.40	1.43	117.85	-0.02	117.85	-0.02
Tinfos-I ³⁾	2	Q ₁₀₀₀	1502	1502	Nei	48.66	47.00	1.66	49.00	-0.34	48.06	0.60
Tinfos-II ³⁾	1	Q ₅₀₀	1402	1402	Nei	48.27	47.00	1.27	47.60	0.67	47.83	0.44
Tinfos-I ⁴⁾	2	Q ₁₀₀₀	1502	1502	Ja (25% i segmentlukene)	49.49	47.00	2.49	49.00	0.49	48.06	1.43
Tinfos-II ⁴⁾	1	Q ₅₀₀	1402	1402	Ja (25% i segmentlukene)	49.34	47.00	2.34	47.60	1.74	47.83	1.51

1) Maksimal flomavledningskapasitet gir her vannstand 143.94, men pga. at lukene reguleres vil vannstanden holdes på 144,50.

2) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. Q1000 ga da vannstand 117,85 mot tidligere 119,19.

3) Tinfos-I fikk ved ombygging i 2015 noe redusert flomavledningskapasitet. Q1000 ga da v.st 48.06 mot tidligere 47.96 før 2015 og 47.72 før oppklasifisering i 2006.

4) Vannstander beregnet iht. ny Q1000 og kapasitetskurve etter byggetrinn 1 i 2015, med 25% tilstopping i segmentlukene. Vannstandene fra forrige flomberegning regnet ikke med tilstopping.

I ulykkesgrensetilstanden er valgt den situasjon som gir høyest vannstandsstigning av kontrollflommen i ulykkesgrensetilstanden og dimensjonerende flom i bruddgrensetilstanden kombinert med lukesvikt. For alle dammene ble kontrollflommen i ulykkesgrensetilstanden dimensjonerende situasjon. Dette er oppsummert i Tabell 57.

Tabell 57 Dimensjonerende flomstørrelser i ulykkesgrensetilstanden.

Dam	Kl.	Qdim	Totaltilsig til dam [m ³ /s]	Avløp [m ³ /s]	Dimensjonerende situasjon	Vannstand [moh]	HRV [moh]	v.st. over HRV [moh]	Krone [moh]	v.st. over krone [moh]	Forrige flom-beregning.	økning ift. forrige
Skarsfoss	4	Q _{PMF}	1428	1428	Q _{PMF}	860.56	857.10	3.46	859.15	1.41	859.57	0.99
Krokan	1	1,5 x Q ₅₀₀	690	690	1,5 x Q ₅₀₀	697.66	692.50	5.16	692.50	5.16	697.06	0.60
Mæland	1	1,5 x Q ₅₀₀	797	797	1,5 x Q ₅₀₀	286.06	282.60	3.46	283.60	2.46	284.85	1.21
Dale	1	1,5 x Q ₅₀₀	862	862	1,5 x Q ₅₀₀	238.12	236.00	2.12	238.00	0.12	237.83	0.29
Tinnsjøen			3165	2564		197.56	191.62	5.94	196.07	1.49	195.78	1.78
Tinnoset	3	Q _{PMF}	2564	2564	Q _{PMF}	196.22	191.62	4.6	196.07	0.15	194.67	1.55
Årlifoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2311	2311	1,5 x Q ₁₀₀₀	166.51	161.60	4.91	163.50	3.01	163.43	3.08
Grønnvollfoss	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2336	2336	1,5 x Q ₁₀₀₀	145.50	144.50	1	146.40	-0.90	144.86	0.64
Svelgfoss ¹⁾	3	Q _{PMF}	2795	2795	Q _{PMF}	120.91	116.40	4.51	117.85	3.06	121.50	-0.59
Tinfos-I ²⁾	2	1,5 x Q ₁₀₀₀	2430	2430	1,5 x Q ₁₀₀₀	50.09	47.00	3.09	49.00	1.09	49.72	0.37
Tinfos-II	1	1,5 x Q ₅₀₀	2222	2222	1,5 x Q ₅₀₀	49.86	47.00	2.86	47.60	2.26	49.64	0.22

1) Svelgfoss ble ombygd og fikk økt flomavledningskapasitet i 2013. Q1000 ga da vannstand 121,50 mot tidligere 122,07.

2) Tinfos-I fikk ved ombygging i 2015 redusert kapasitet i ulykkesgrensetilstand. 1,5 x Q1000 ga da v.st 49.72 mot tidligere 48.93 før 2015.

Kommentarer:

Ift. de sist utførte flomberegningene kommer de dimensjonerende flomstørrelsene i bruddgrensetilstanden i denne rapporten ut noe lavere for dammene i Måna (86 % - 96 %), og noe høyere for dammene i Tinnelva (101 % -107 %). Foruten at datagrunnlaget nå er oppgradert med verdier fra 2005 – 2018, skyldes endringene at det i siste flomberegning for Møsvatn er lagt til grunn et annerledes utløpsregime enn det som ble brukt i de foregående flomberegningene.

Med unntak for dam Krokan og dam Svelgfoss, kommer flomstørrelsene i ulykkesgrensetilstanden alle ut høyere i denne rapporten enn i de sist utførte flomberegningene (107 % - 136 %). For dammen med størst økning, Tinnoset, er hovedårsaken at denne nå har blitt oppklassifisert og fått Q_{PMF} i stedet for $1,5 \times Q_{1000}$ som kontrollflom. For øvrig skyldes økningene at utløpsflommen fra Møsvatn nå er noe større enn i forrige beregning. Dette er fordi tilløpsflommene nå er større og fordi vårflom nå er regnet som dimensjonerende flomhendelse og uten forhåndsnedtappet startmagasin, samt at begge flomtunnelene nå er regnet med i flomavledningskapasiteten ved PMF. I forrige flomberegning ble kun den ene flomtunnelen regnet med. Økningen ut av Møsvatn gjør at tilløpsflommen til Tinnsjøen også blir større og får et mer langvarig forløp.

Lukene på Grønnvollfoss reguleres hele tiden slik at vannstanden holdes på HRV (normalvannstanden). Ved en dimensjonerende flom er flomavledningskapasiteten (ved HRV) større enn tilsiget. DFV for dammen settes derfor lik HRV.

Mht. til vannstandsstigning i bruddgrensetilstanden så har dammene Skarsfoss, Dale, Tinnoset, Grønnvollfoss og Svelgfoss ubetydelige endringer ift. de forrige flomberegninger. Dammene Krokan, og Mæland og spesielt Årlifoss og Tinfos (spesielt situasjonen med tilstopping), får imidlertid klare økninger. For Krokan skyldes økningen at kapasitetskurven for denne dammen nå er endret ift. til sist, mens Mæland har fått økning pga. at det nå er regnet med tilstopping av flomløpene noe som ikke ble gjort forrige gang. For Årlifoss skyldes den relativt store økningen at kapasitetskurven nå er vesentlig endret siden sist, og at tilløpsflommen er litt større enn i siste beregning. For Tinfos er hovedårsaken at det nå regnes med dykking av lukene på en lavere vannstand enn i tidligere beregninger.

Størst vannstandsøkning oppstår likevel for dammene Tinfos-I og Tinfos-II i situasjonen beregnet for 25 % lukesvikt. Dette gir hhv. 1,43 og 1,51 meter høyere vannstander enn i forrige flomberegning. Dette er vannstander som vil gi overtopping av både de nylig rehabiliterte og de gamle damkomponentene, og som ganske sikkert ikke kan aksepteres. Begge dammene er under rehabilitering og det er i skrivende stund ikke avklart hva slags løsning for flomavledning som vil bli valgt i byggetrinn 2. Det er derfor usikkert om det er riktig å legge tilstopping av flomløpene til grunn for dammene i Tinfos. Spørsmålet må avklares med NVE, sammen med planene som er under utarbeidelse for å øke flomavledningskapasiteten. Dersom det ikke regnes med tilstopping i Tinfos-I blir vannstandsforskjellene mindre ift. beregning som ble gjort etter 1. byggetrinn 2015, men likevel ikke ubetydelige hhv. 60 cm for Tinfos-I og 44 cm for Tinfos-II.

I ulykkesgrensetilstanden får alle dammene unntatt Svelgfoss økt vannstandsstigning ift. forrige flomberegning. Årsaken er enten at flomstørrelsene i ulykkesgrensetilstanden nå har økt og/eller at kapasitetskurvene nå viser mindre kapasitet ift. kurvene som tidligere ble brukt. Spesielt stor økning får dam Årlifoss. For dam Svelgfoss er det imidlertid motsatt. Her er påregnelig maksimal flom nå mindre enn i forrige beregning samtidig som dammen har fått økt flomavledningskapasitet.

12 Referanser

- Ref. 1 Retningslinjer for flomberegninger, NVE-04, 2011.
- Ref. 2 Tillegg til retningslinjer for flomberegninger, NVE, 28.11.2016.
- Ref. 3 Klimaendringer og framtidige flommer i Norge, NVE-81 2016.
- Ref. 4 Retningslinjer for flomløp, NVE 2005.
- Ref. 5 Kapasitetskurver for tappe- og flomavledningsorgan i Rjukanstrengen, Norconsult notat oajor20140616-5103628, 2014.
- Ref. 6 Vannlinjeberegning Rjukanstrengen. Ny dam Dale, Norconsult 5102638, 2012.
- Ref. 7 Vannføringskurve ved dam Tinnoset, Norconsult 4543800, 2006.
- Ref. 8 Avledningsforhold ved Dam Årlifoss, Norconsult 3014200,2001.
- Ref. 9 Flomavledningskapasitet Dam Grønnvollfoss, Norconsult 5176284 – Vedl. C1, 2017.
- Ref. 10 Flomberegning Mår, Måna og Tinnelva ned til Notodden, CM-Consulting, 2006.
- Ref. 11 Svelgfoss dam. Flomavledningsberegninger, Norconsult 4081500, 2004.
- Ref. 12 Kanal og dammer for kraftverkene Tinfos-I og Tinfos-II, Notodden kommune. Anmodning om aksept for avvik i henhold til damsikkerhetsforskriftens standard bestemmelser for vestre fyllingsdam. Sweco, 2012.
- Ref. 13 Dam Svelgfoss. Tappe- og vannføringskurver. Sweco, 2013.
- Ref. 14 Flomberegning Rjukanstrengen, Norconsult 5110867, 2012.
- Ref. 15 Flomberegning for Møsvatn, Norconsult 5143350-4, 2020.
- Ref. 16 Flomberegning for Mår kraftverk, Norconsult 5156003-3, 2016.
- Ref. 17 Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), OED, 2010.
- Ref. 18 En undersøkelse av flommer i Tinnsjøens nedbørfelt, Lars Roald, NVE 1-1984.