

FREVAR




Flomberegning for Tvetervann



Oppdragsnr.: 5186915 Dokumentnr.: 1 Versjon: E01
2019-03-08

Oppdragsgiver: FREVAR
 Oppdragsgivers kontaktperson: Eli Hiberg Andresen
 Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
 Oppdragsleder: Claus Rikartsen
 Fagansvarlig: Françoise Bigillon
 Andre nøkkelpersoner: Dan Lundquist (Fagkontroll)

Tittel	Navn	Faggodkjent NVE
Oppdragsleder	Claus Rikartsen	II Fyllingsdammer, alle konsekvensklasse IV Hydrologi, alle konsekvensklasse
Fagansvarlig	Françoise Bigillon	
Fagkontrollør Flomberegning	Dan Lundquist	IV Hydrologi, alle konsekvensklasse

E01	2019-03-08	For godkjenning hos NVE	 Françoise Bigillon	 Dan Lundquist	 Claus Rikartsen
D01	2018-12-11	For godkjennelse hos oppdragsgiver	Françoise Bigillon	Dan Lundquist	Claus Rikartsen
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. 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

Norconsult AS er engasjert av Fredrikstad vann- avløp- og renovasjonsforetak KF (FREVAR) for å gjennomføre flomberegning for Tvetervann. Formålet er å benytte resultatene til rehabilitering av damanlegget.

Damanlegget består av 2 betongdammer, en murdam og en fyllingsdam. Dammene er i dag plassert i bruddkonsekvensklasse 1 og 2. Dimensjonerende flom er Q_{500} , mens ulykkesflom er $1,5 \times Q_{500}$ for dammer i klasse 1 og dimensjonerende flom er Q_{1000} , mens ulykkesflom er $1,5 \times Q_{1000}$ for dammer i klasse 2.

Beregningene er utført i henhold til NVEs retningslinjer for flomberegninger (2011) og med bruk av NVEs programvare DAGUT for flomfrekvensanalyse. Resultatene er vist i Tabell 1.

Tabell 1: Sammendrag

	Flom	Tilløp m ³ /s	Avløp m ³ /s	Vannstand m o.h.	Over HRV m
500 årsflom	Q_{500}	8,2	1,5	78,71	0,41
50% tilstopping	Q_{500}	8,2	1,1	78,81	0,51
Klimapåslag (20%)	$1,2 \times Q_{500}$	9,9	1,9	78,78	0,58
Ulykkesflom	$1,5 \times Q_{500}$	12,3	2,5	78,88	0,58
1000 årsflom	Q_{1000}	8,9	1,7	78,74	0,44
50% tilstopping	Q_{1000}	8,9	1,2	78,85	0,55
Klimapåslag (20%)	$1,2 \times Q_{1000}$	10,7	2,1	78,81	0,51
Ulykkesflom	$1,5 \times Q_{1000}$	13,4	2,8	78,92	0,62

Resultatet tilsvarer et døgnmiddel i Q_{1000} tilløpsflom på 800 l/s/km² ved Tvetervann. Datagrunnlaget til denne flomberegningen vurderes å ligge i kvalitetsklasse 3 på kanten mot 4, siden det ikke er noen direkte hydrologiske observasjoner i vassdraget eller i umiddelbar nærhet og at feltarealet er svært lite.

Beregningene er vurdert som lite sensitive for variasjoner i tilløpsflommens størrelse og damanleggets avløpskapasitet.

Ved et klimapåslag på +20% må man påregne 7 cm høyere vannstand og med et klimapåslag på +40% må man påregne 14 cm høyere vannstand.

Innhold

1	Feltbeskrivelse	6
2	Reguleringsanlegg	8
2.1	Tvetervann	8
2.2	Magasinkurve	13
2.3	Forutsetninger	13
3	Flomfrekvensanalyse	14
3.1	Målestasjoner	14
3.2	Observerte flommer	15
3.3	Flomsesong	15
3.4	Frekvensanalyse	15
3.5	Regionale flomformler	16
3.6	Nasjonalt formelverk for små felt	18
3.7	Rasjonale formel	19
3.8	Resultater	19
3.9	Endelig valg av flomstørrelse	20
3.10	Sammenligning mot flomberegning i område	20
3.11	Flomforløp	21
	3.11.1 Kulminasjonsfaktor	21
	3.11.2 Flomvarighet	21
	3.11.3 Flomforløp	22
4	Resultater	23
5	Vurdering av beregningene	24
5.1	Datagrunnlag	24
5.2	Sensitivitetsanalyse	24
5.3	Tilstopping og lukesvikt	24
5.4	Mulige konsekvenser av klimaendringer	25
5.5	Sammenligning mot tidligere flomberegning	25
6	Referanser	26
7	Vedlegg	27
7.1	Flomfrekvensanalyse	27
7.2	Utskrift fra beregningene	28
	7.2.1 Q ₅₀₀	28
	7.2.2 Q ₁₀₀₀	29

7.2.3	1,5×Q ₅₀₀	30
7.2.4	1,5×Q ₁₀₀₀	31
7.3	Nevina rapport	32
7.4	Damtegninger	33

1 Feltbeskrivelse

Tvetervann ligger ca. 8 km øst for Sarpsborg by, i Sarpsborg kommune, i Østfold fylke. Figur 1-1 viser oversiktskart med plassering av magasinet.



Figur 1-1: Oversiktskart, Tvetervann er markert. Kilde: NVE Atlas

Nedbørfeltet til Tvetervann har utløp mot Isesjøen ca. 3 km nedstrøms Tvetervann. Tvetervann er inntaksmagasin for vannforsyning til Fredrikstad med omegn.

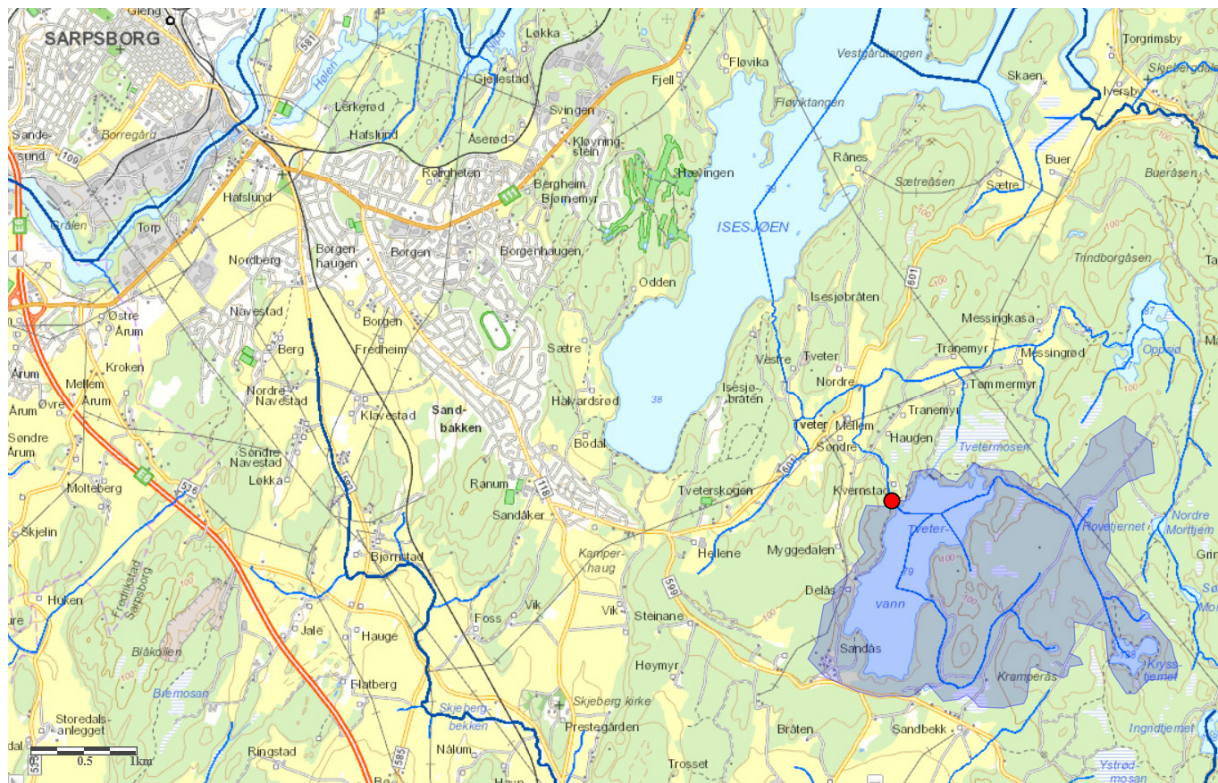
Det ble utført befaring av vassdraget den 17.10.2018. Med på befaringen var Eli Hiberger Andersen og Tor Gunnar Jantsch (begge fra FREVAR), Øystein Klausen (VTA), Kjell Molkersrød (NVE), i tillegg til Claus Rikartsen og Elisabeth Ødegård Teigen (begge fra Norconsult).

Nedbørfelt og feltparametere for dammen er vist i Tabell 1-1 og Figur 1-2. Nedbørfelt er beregnet ved hjelp av Nevina verktøy. Nebørfelt består av skogsterreng med noe fjell, myr og 3 små innsjøer i tillegg til magasinet.

Årsavrenning er hentet fra Nevina og kontrollert mot verdier fra målestasjoner i området.

Tabell 1-1: Feltparametere

Felt	Størrelse (km ²)	Magasin (km ²)	Hoh (Min. – med. -max.)	Eff. sjø prosent (%) uten mag.	Skog	Myr	QN (l/s/km ²) 1961-90
Tvetervann	5,6	1,14	78 - 100 - 170	0,1	74%	2,3%	11,4



Figur 1-2: Nedbørfelt til Tvetervann beregnet ved hjelp av Nevina verktøy.

2 Reguleringsanlegg

2.1 Høydesystem

Høydene som er oppgitt i denne flomberegningen, refererer seg til NN2000-høyder. Vedlagt tegninger referer seg til NN1954-høyder.

Damanlegget ble oppmålt 06.11.2018 i høydesystem NN2000.

Tabell 2-1 gir endring på kote fra NN1954 til NN2000. For referanse, <https://www.kartverket.no/NN2000> anbefales +10-15 cm fra NN1954- til NN2000-høyder.

Tabell 2-1: Endring på kote fra NN1954-høyder til NN2000-høyder.

Element	NN1954 Tegninger	NN2000 Oppmåling 2018
Betongoverløp (HRV)	78,20 Underkant på kote 78,98 Overkant på kote 79,23	78,30 Underkant på kote 79,08 Overkant på kote 79,33
Damkrone 1	79,08	79,15
Damkrone 2	79,28	79,36
Damkrone 3	79,32	79,40
Damkrone 4	80,2-80,5	80,18-80,59

2.2 Tvetervann

Tvetervann består av 4 dammer som er vist i Figur 2-1. Det foreligger tegningsgrunnlag for dam 1, dam 2, dam 3 og dam 4, og alle mål er basert på tegninger og innmålinger gjort under befaringen.



Figur 2-1: Oversikt over de 4 dammer ved Tvetervann.

Tvetervann 1 (dam nr. 3641) er en ca. 5 m høy murt steindam bygd rundt 1905. Den ble rehabilitert i 1999 med oppstrøms plate av betong. Dammen er 45 m lang og ligger på kote 79,15. Dammen har et 4 m langt overløp som ligger over en del av murdammen på HRV=78,30 m o.h.. Overløpet har en gangbru med underkant på kote 79,08. Dammen er plassert i konsekvensklasse 2.

Overløpslengden er basert på innmålinger gjort under befaringen. I henhold til NVEs retningslinjer for flomløp [1], er det tatt hensyn til sidekontraksjon. For skarpe kanter er overløpslengden redusert med $0,1 \times H \times n$ hvor H er dimensjonerende overløpshøyde og n er antall kontraksjoner. Overløpslengden er redusert med $0,1 \times H \times 2 = 0,08$ m (to kontraksjoner og H=0,4 m).



Figur 2-2: Tvetervann murt steindam med overløp. Til venstre: oppstrømside som viser betongplate. Til høyre: nedstrømside som viser murdammen.

Tvetervann 2 (dam nr. 3642) er en liten gravitasjonsdam i betong ca. 2 m høy. Den ble rehabilitert i 1999 med armert plate på begge sider og en ny overflatestøp på 100 mm på damkronen. Damkronen er ca. 20 m lang og ligger på kote 79,36 m o.h.. Dammen er plassert i konsekvensklasse 2.



Figur 2-3: Tvetervann 2.

Tvetervann 3 (dam nr. 3643) er murt steindam med maksimum høyde ca. 7 m høy. Den ble rehabilitert i 1999 med oppstrøms plate av betong. Dammen er ca. 115 m lang og damkronen ligger på ca. 79,40 m o.h.. Dammen er plassert i konsekvensklasse 1.



Figur 2-4: Tvetervann 3.

Tvetervann 4 (dam nr. 3644) er en fyllingsdam bygd rundt 1905. dammen var utsatt for overtopping under flom og ble påbygd og forsterket i 2011. Dammen ligger ca. 2 m over HRV. Dybden til fjell er ca. 7 m fra damkronenivå. Dammen er plassert i konsekvensklasse 1.

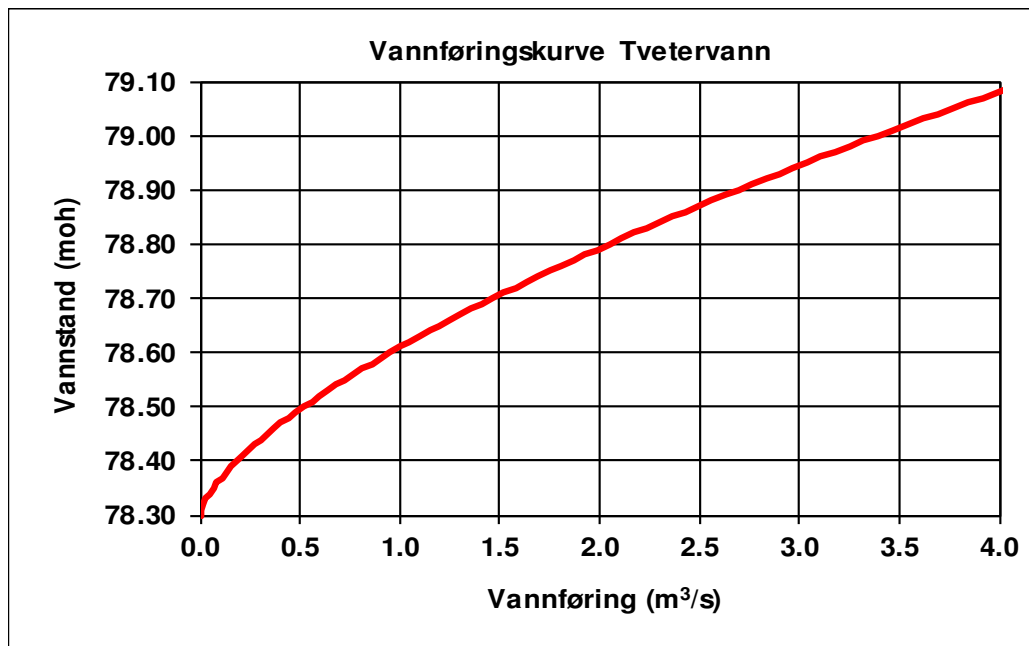


Figur 2-5: Tvetervann 4.

Damdata for Tvetervann er vist i Tabell 2-2.

C-faktor for overløpet er valgt til 1,45 pga. skarpkantet overløpsprofil, bredden på overløpsterskel $B=2$ m og et forhold H/B på ca. 0,2 hvor H er vanndybde over terskel. C-faktor for damkronene er valgt til 1,40 pga. forhold $H/B < 0,1$.

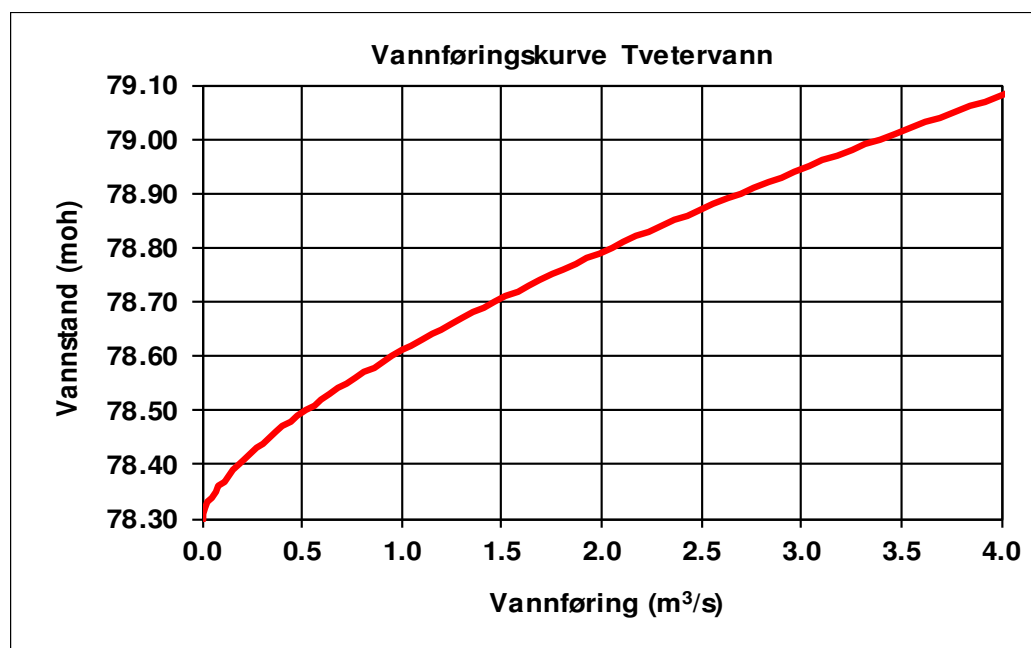
Kapasitetskurven for Tvetervann er vist i



Figur 2-6.

Tabell 2-2 Damdata for Tvetervann.

	Lengde (m)	Kote (moh.)	C-faktor	Gangbru
Betongoverløp	4	78,30	1,45	Underkant på kote 79,08 Overkant på kote 79,33
Damkrone 1	45	79,15	1,4	
Damkrone 2	20	79,36	1,4	
Damkrone 3	115	79,40	1,4	
Damkrone 4	Ca. 90	80,2-80,6	1,4	



Figur 2-6: Flomløpskapasitet for Tvetervann.

2.3 Magasinkurve

Ved HRV (78,30 m o.h.) er arealet gitt til 1,14 km², og areal er forutsatt det samme for HRV+1m.

2.4 Forutsetninger

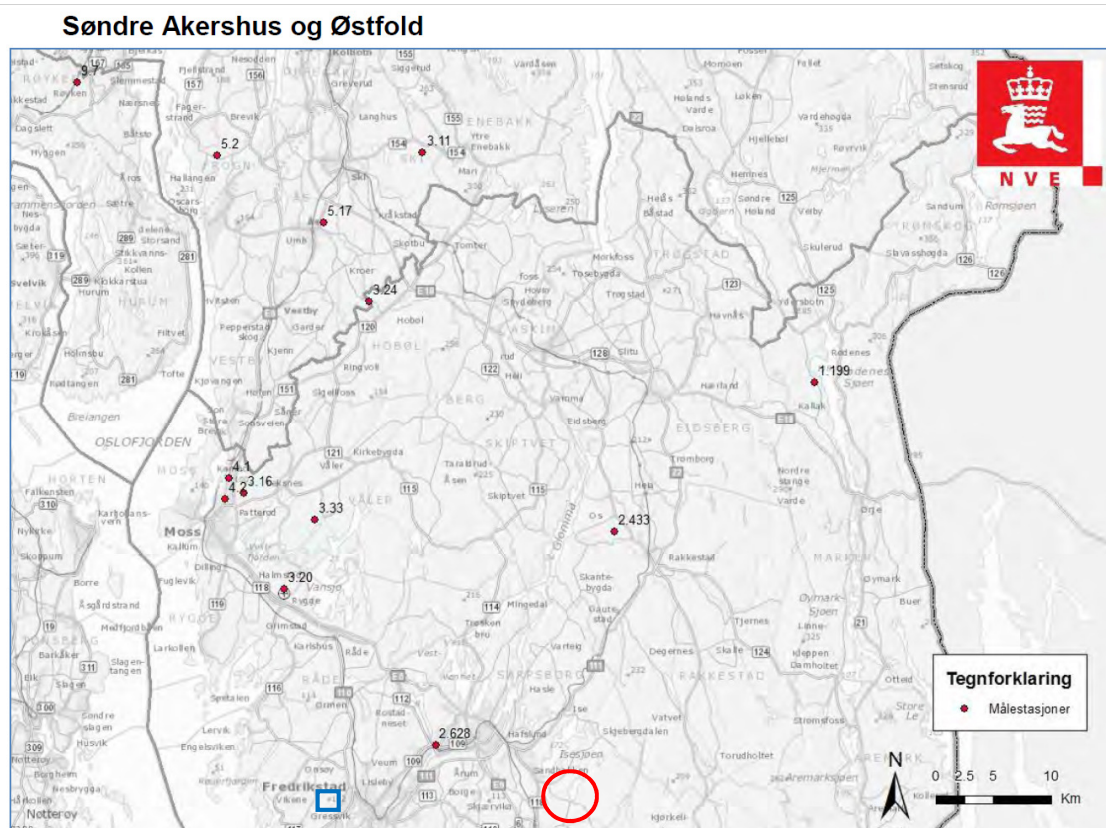
Tvetervann er inntaksmagasin for vannforsyning til Fredrikstad kommune. Det er forutsatt av vannuttaket til vannverket fra dammen er ute av drift under flommen (ugunstigste situasjon).

3 Flomfrekvensanalyse

Det er tatt utgangspunkt i en flomfrekvensanalyse tidligere utført for Trondalsdammen. Trondalsdammen ligger innenfor Fredrikstad by, ca. 5 km sør-øst fra Tvetervann og har et lite felt (0,17 km²).

3.1 Målestasjoner

Det er foretatt flomfrekvensanalyser for flere vannmerker i området (Figur 3-1). En oversikt over målestasjoner med små felt (<50 km²) i området rundt Fredrikstad er angitt i ref. [2].



Figur 3-1: Oversiktskart av målestasjoner rundt Fredrikstad med felt mindre enn 50 km² (Kilde [2]). Tvetervann er merket med rød sirkel. Trondalsdammen er merket med blå firkant.

I utgangspunktet har vi vurdert data fra alle de viste målestasjonene, men på grunn av korte serier, høy sjøprosent og mye manglende data i seriene, er 3.11 Sagstubekken vurdert som den eneste representative målestasjonen på Østlandet. Tabell 3-1 viser feltparameter for dette vannmerket og for Tvetervann. For vannmerket er feltparameterne hentet fra Hysopp. For Tvetervann er feltparameterne beregnet ved hjelp av verktøy i Nevina.

Normal avrenning (Q_N) for Tvetervann er basert på kartanalyse og Nevina. Avrenningskart fra NVE [3] viser en årsmiddelavrenning for perioden 1961-1990 på 300-390 mm/år som gir $Q_N = 9,5-12,5$ l/s/km². Nevina gir en verdi på ca. 11,4 l/s/km². Vi har valgt å bruke denne verdien til å estimere årsmiddelavrenning for Tvetervann. For 3.11 Sagstubekken er årsmiddelavrenning for perioden 1961-1990 gitt til 500-1000 mm/år fra avrenningskart ($Q_N = 16-32$ l/s/km²) og er beregnet til 15,6 l/s/km² fra måleserien (1952-1973) og til 19 l/s/km² fra Nevina.

Tabell 3-1: Feltparametere

Målestasjon	Areal (km ²)	Periode / Kilde	Høyde i m o.h. (min-med-maks)	Eff. Sjø. (%)	Skog %	Q _N (Obs / 61-90) l/s/km ²
Tvetervann	5,6	Nevina	78 - 100 - 170	0,1	74	11,4
3.11 Sagstubekken	3,39	Måleserie 1952-1973	154-198-239	0,03	97	15,6 ¹
3.11 Sagstubekken	3,44	Nevina	154-198-239	0,03	97	19,0

¹Vannmerker: observert middelvannføring i observasjonsperioden 1952-1973.

3.2 Observerte flommer

Den største observerte flommen ved 3.11 Sagstubekken har forekommet i oktober. Forholdstallet i siste kolonne (maks.obs./Q₁₀₀₀) antyder at den tilsvarer ca. 80% av 1000-årsflom.

Tabell 3-2 Observerte store flommer (døgnverdi).

Målestasjon	Periode	Obs. år	Obs. dato	Maks.obs. (l/s/km ²)	Maks.obs. / Q ₁₀₀₀
3.11 Sagstubekken	1952-1973	1967	29.oct	590	0,76

3.3 Flomsesong

De regionale flomformlene skiller mellom vår- og høstflommer. Dette vurderes som nødvendig i dette området ved kysten, og som en bekreftelse på dette, er det i Tabell 3-3 vist resultater for Q₁₀₀₀ med en oppdeling i vår (1.1-31.7), høst (1.8-31.12) og år. Beregningene er foretatt med NVEs programvare for ekstremverdianalyse i DAGUT, og da ved bruk av Gumbel fordelingen. De største verdiene for målestasjonen er uthevet.

Det fremgår av tabellen at høstflom dominerer ved 3.11 Sagstubekken. Derfor er det i frekvensanalysen lagt til grunn høstflom.

Tabell 3-3: Q₁₀₀₀ beregnet med sesonginndeling (l/s/km²).

VM Navn	År	Vår	Høst
3.11 Sagstubekken	779	472	855

3.4 Frekvensanalyse

De mer detaljerte resultatene for høstflommer er vist i Tabell 3-4. Fordelingen som flomstørrelsene er beregnet med, er oppgitt i den siste kolonnen. Tabell 3-4 gir også forhold for Q₁₀₀₀/Q_M, og Q₂₀₀/Q_M, Q₁₀₀₀/Q₂₀₀, og Q₅₀₀/Q₂₀₀ fra resultatene fra frekvensanalysen.

Tabell 3-4: Flomfrekvensanalyse for høstflommer (l/s/km²).

Målestasjon	Ant. år	Q _M	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀	Q ₁₀₀₀ /Q _M	Q ₅₀₀ /Q _M	Q ₂₀₀ /Q _M	Q ₁₀₀₀ /Q ₂₀₀	Q ₅₀₀ /Q ₂₀₀
3.11 Sagstubekken	22	206	690	785	855	4,15	3,81	3,35	1,24	1,14

3.5 Regionale flomformler

Feltene i denne analysen er for små til å benytte de regionale flomformler fra NVEs retningslinjer for flomberegninger [4].

En egen regionalanalyse er imidlertid utført av Norconsult for å vurdere 200-årsflom i 2017. Analysen inkluderer vannmerke 3.11 Sagstubekken. Analysen anses som egnet for å vurdere døgnmiddel av spesifikk 200-årsflom for Tvetervann.

I denne analysen, ble det utført en multippel regresjonsanalyse på 16 målestasjoner rundt Oslo fjorden. I tillegg var det inkludert fire små nedbørfelt i Telemark og Agder, som gir analysen et bedre grunnlag, siden disse feltene er spesielt små. Norconsult har vært involvert i en rekke flomberegninger for små felt i den sentrale Østlands-regionen de siste årene, blant annet for oppdragsgivere som Jernbaneverket, Oslo kommune, Nedre Romerike vannverk, Statskog og Glitrevannverket. Vi har således et bredt erfaringsgrunnlag fra tidligere tilsvarende analyser.

Det er utført flomfrekvensanalyse på data fra feltene vist i Tabell 3-5, med resultatet for 200-årsflom vist helt til høyre i tabellen som døgnmiddel. Et oversiktskart er vist i Figur 3-3. Høstflommene i de naturlige feltene i dette området er typisk litt større enn årsflommene, men for meget små felt vil det være naturlig å se på årsflommer. Årsaken er at kortvarige og intense tilsigsepisoder like gjerne kan opptre på sommeren som på høsten.

Tabell 3-5: Feltkarakteristika og 200-årsflom (døgnmiddel).

Felt	A (km ²)	A _{SE} (%)	Høyde (m o.h.) Min- med - Maks	QN (l/s*km ²)	Periode	Q ₂₀₀ (l/s*km ²)
Tvetervann	5,6	0,1	78-100-170	11,4	-	561
3.11 Sagstubekken	3,4	0,03	154-198-235	15,6	1952-1973	669
3.22 Høgfoss	299,0	0,54	47-154-345	15,8	1977-2016	354
6.10 Gryta	7,6	0,37	163-302-438	19,7	1968-2016	516
8.2 Bjørnegårdssvingen	190,4	0,02	4-343-681	19,9	1969-2016	540
8.6 Sæternbekken	6,3	0,02	107-240-420	17,5	1972-2016	611
8.8 Blomsterkroken	22,2	0,27	25-208-452	22,0	1976-2004	683
11.4 Elgtjern	6,6	3,62	430-510-673	22,5	1975-2007	561
12.106 Vikevatn	134,7	1,66	37-154-625	24,2	1956-1974	342
12.192 Sundbyfoss	74,30	0,38	54-194-625	22,7	1977-2016	550
12.193 Fiskum	51,9	0,09	84-278-649	16,0	1977-2016	668
15.21 Jondalselv	126,9	0,25	229-574-920	25,4	1993-2016	731
16.154 Brusetbekken	6,8	0,38	64-126-308	20,6	1987-2017	768
19.89 Skornetten	2,7	0,00	544-744-882	25,2	1974-2001	885
19.91 Åbogtjern ndf.	1,15	3,40	636-688-849	25,8	1974-2001	696
19.96 Storgama ovf.	0,6	3,47	581-610-680	36,0	1975-2016	982
20.11 Tveitdalen	0,4	0,00	191-219-239	37,5	1973-2016	1159

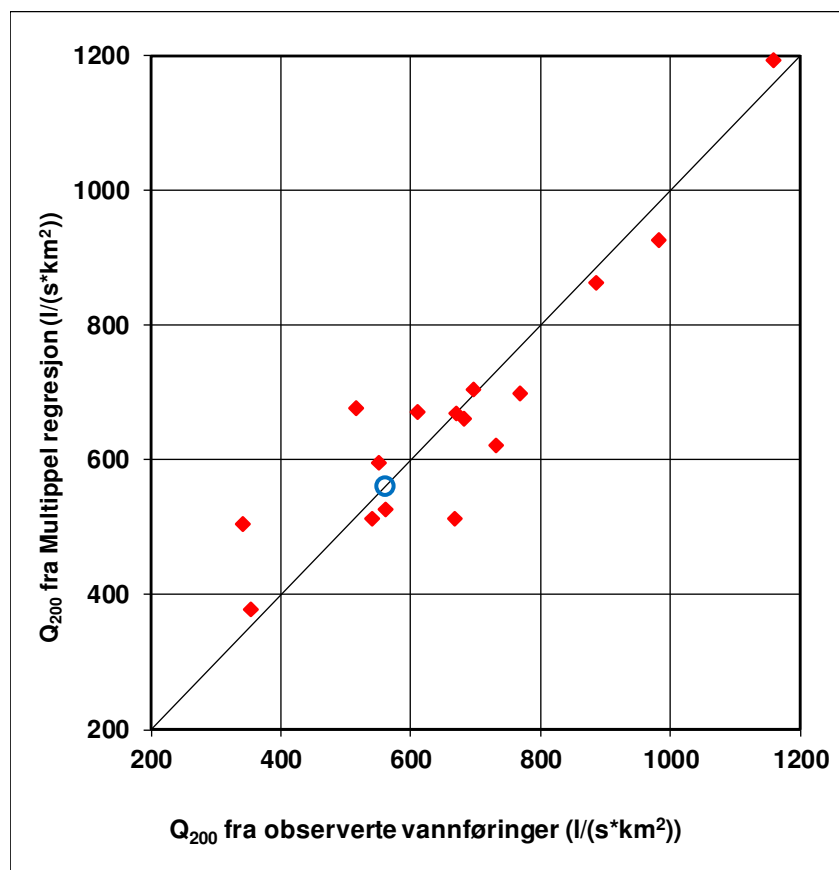
For å analysere eventuelle relasjoner mellom feltparametrene og spesifikk 200-årsflom er det utført en multipel regresjonsanalyse på datasettet. Analysen viser at feltareal (A), effektiv sjøprosent (A_{SE}) og årlig midlere tilsig (Q_N) kan forklare mye av variasjonen i flommer i regionen ($R^2=0,84$), se Figur 3-2. Effektiv sjøprosent er på grensen til å være statistisk signifikant (5%-nivå), men siden tilpasningen blir visuelt dårligere uten denne feltparameteren, er den beholdt i analysen. Ligningen for regresjonen blir:

$$Q_{200} = 462 - 59,11 \times \ln(A) - 64,32 \times A_{SE} + 18,2 \times Q_N$$

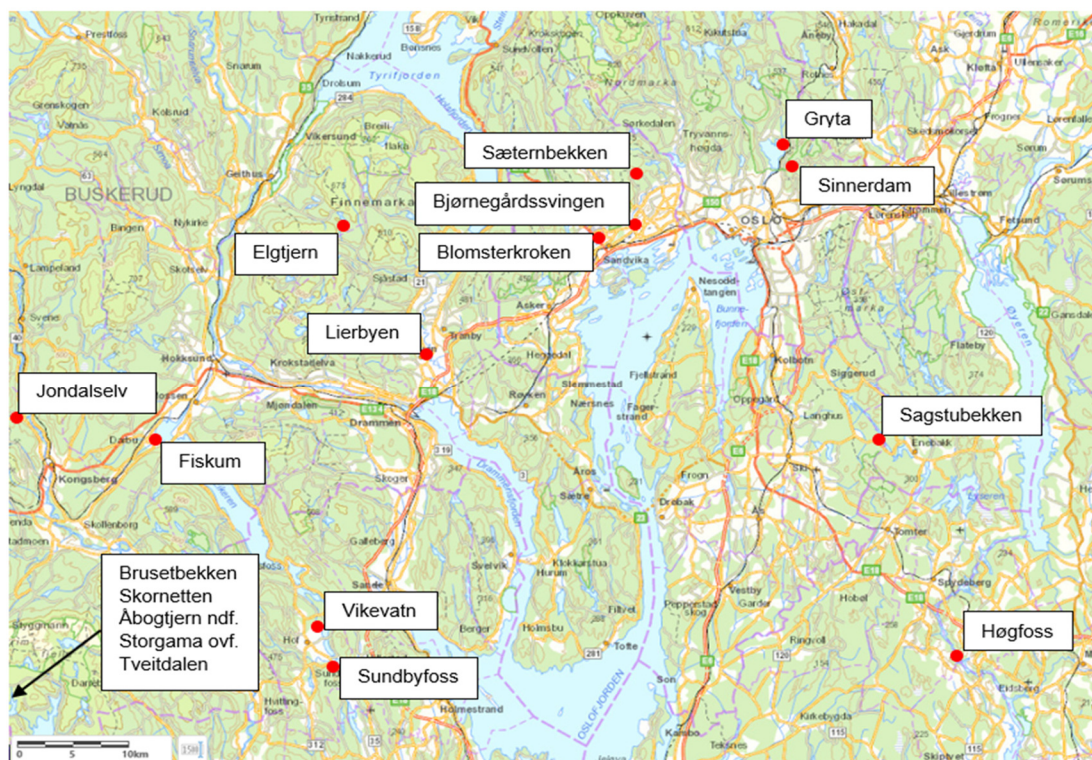
For feltet til Tvetervann gir formelen en verdi for Q_{200} på 561 l/s/km² (Tabell 3-6 og Figur 3-2).

Døgnverdien for Q_{500} er oppskalert med forholdstallet fra frekvensanalysen 1,14 (Tabell 3-4) og er beregnet til 640 l/s/km² (Tabell 3-6).

Døgnverdien for Q_{1000} er oppskalert med forholdstallet fra frekvensanalysen 1,24 (Tabell 3-4) og er beregnet til 695 l/s/km² (Tabell 3-6).



Figur 3-2: Sammenligning av observert 200-årsflom og 200-årsflom beregnet fra regresjon. Beregnet verdi for Tvetervann vist med blått.



Figur 3-3: Målestasjoner benyttet til frekvensanalyse. I tillegg kommer fire nedbørfelt i Telemark og Agder.

Tabell 3-6: Flommer (døgnverdi) beregnet fra multipel regresjonsanalyse rundt Oslofjorden.

Felt	A (km ²)	QN (l/s*km ²)	A _{SE} * (%)	Q ₂₀₀ (l/s*km ²)	Q ₅₀₀ (l/s*km ²)	Q ₁₀₀₀ (l/s*km ²)
Tvetervann	5,6	11,4	0,1	561	640	695
3.11 Sagstubekken	3,4	15,6	0,03	715	815	885

* Effektiv sjøprosent uten magasin

3.6 Nasjonalt formelverk for små felt

Det er også foretatt beregninger av Q_M, Q₅₀₀ og Q₁₀₀₀ basert på nasjonalt formelverk for flom i små nedbørfelt. Det skal bemerkes at i henhold til *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* [5] kan nasjonalt formelverk for flom i små nedbørfelt (ca. <50 km² og >0,2 km²) brukes for beregning av momentanflommer med gjentaksintervall opp til og med 200 år. Middelflom beregnes da ved hjelp av følgende formel:

$$Q_M = 18,97 \cdot Q_N^{0,864} e^{-0,251\sqrt{A_{SE}}}$$

hvor Q_N er nedbørfeltets middelvanntføring (m³/s) i perioden 1961-90 (Tabell 3-1), A_{SE} er den effektive sjøprosenten (%) og e er grunntallet e ≈ 2,718.

Q₅₀₀ og Q₁₀₀₀ er oppskalert med forholdstall fra frekvensanalyse, henholdsvis 1,14 og 1,24 (Tabell 3-4). Døgnverdien er beregnet ut fra forholdstallet beregnet etter formelverket i retningslinjene for høstflom 1,99 (Tabell 3-10). Parameterne som inngår i formelverket og resultatene er presentert i Tabell 3-7.

Tabell 3-7: Flommer (kulminasjonsverdi) beregnet fra nasjonalt formelverk for småfelt.

Felt	A (km ²)	QN (l/s*km ²)	A _{SE} * (%)	Kulminasjon (l/s/km ²)		Døgn (l/s/km ²)			
				Q _M	Q ₂₀₀	Q _M	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
Tvetervann	5,6	11,4	0,1	290	861	146	433	494	537

*Effektiv sjøprosent uten magasin

Formelen for små uregulerte felt gir kulminasjonsverdier, dvs. den høyeste vannføringsverdien i en flomhendelse. I frekvensanalysen i avsnitt 3.4 er det beregnet døgnmiddelverdier, dvs. middelvannføringen gjennom døgnet. Kulminasjonsfaktoren, forholdet mellom kulminasjonsverdien og døgnmiddelverdien, for de ulike feltene er beregnet i avsnitt 3.11.1 (se Tabell 3-10). Det er brukt forholdet for høstflommer for å beregne døgnverdier.

3.7 Rasjonale formel

Den rasjonale formel kan brukes for beregning av momentanflommer med gjentakintervall opp til og med 200 år for flom i små nedbørfelt. NVEs retningslinjer anbefaler at den rasjonale metoden brukes bare for felt med nedbørfeltareal mindre enn 0,5 km², mens Statens vegvesen Håndbok 018 (ref./3/) anbefaler at den Rasjonale Metoden brukes for felt med areal mindre enn 2-5 km². Den Rasjonale Metoden er derfor ikke brukt for beregning av flomvannføring i Tvetervann.

3.8 Resultater

Tabell 3-8 viser døgnverdier beregnet med metodene beskrevet ovenfor for forskjellig gjentakintervall.

Tabell 3-8: Beregnet døgnvannføring for forskjellige gjentakintervall til 1000 år for Tvetervann.

Gjentaksintervall	Middelflom		200 år		500 år		1000 år	
	Q (m ³ /s)	q (l/s*km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s*km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s*km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s*km ²)
Flomfrekvensanalyse	1,15	206	3,86	690	4,40	785	4,79	855
Regional analyse	-	-	3,14	561	3,6	640	3,89	695
NVEs formelverk for små felt	0,82	146	2,43	433	2,76	494	3,01	537

Med en årsavrenning på 11,4 l/s/km², gir NVEs formelverk for små felt verdier ca. 37% lavere enn verdien beregnet fra flomfrekvensanalyse og ca. 23% lavere enn verdien beregnet fra den regionale analyse. Det er kjent at NVEs formelverk for små felt underestimerer verdier for lav årsavrenning (<10-15 l/s/km²) og er sensitivt for årsavrenning.

Med en årsavrenning på 11,4 l/s/km², gir den regionale analyse en verdi ca. 20% lavere enn verdien beregnet fra flomfrekvensanalyse. Tvetervann er et lite felt med årsavløp noe mindre enn for alle vannmerkene brukt i den regionale analyse og det er ikke usannsynlig at den regionale analyse underestimerer verdier for lav årsavrenning (<15 l/s/km²).

3.9 Endelig valg av flomstørrelse

Analysene ovenfor gir noen indikasjoner på hvilken verdi Q_{1000} skal ha.

NVEs formelverk gir en verdi på Q_{1000} som er usikker pga. lav årsavrenning og forkastes derfor. Resten av metodene gir døgnmiddelverdier ved 1000-årsflom på 695-855 l/s/km². Vi velger å legge spesifikke flomverdier for 1000-årsflom på dette nivået til grunn.

I følge vedlegg 3 erfaringstall fra flomberegninger i [4], er døgnmiddelverdier for Q_{1000} på Østlandet og for små felt (<50km²) stort sett mellom 600-1200 l/s/km². De største verdiene referer seg til meget små felt. Som vi ser, har vi fått én verdi nær middelverdien til dette intervallet.

Tvetervann har et noe større felt og et noe mindre årsavløp enn for 3.11 Sagstubekken. Q_{1000} -verdien for Tvetervann bør derfor være lavere enn verdien for 3.11 Sagstubekken på 855 l/s/km². I tidligere flomberegning, ble døgnmiddel for 1000-årsflom for Tvetervann beregnet til 840 l/s/km². Verdien av flomstørrelse ble da beregnet fra nedbør-avløpsflom modellen, som muligens gir noe konservative verdier.

Vi har valgt en Q_{1000} -verdi på 800 l/s/km² for Tvetervann, 6% lavere enn verdien for Q_{1000} fra flomfrekvensanalysen (Tabell 3-6) og 13% høyere enn verdien for Q_{1000} fra den regionale analysen.

Ved hjelp av gjennomsnittlig forholdstall fra frekvensanalysen (Tabell 3-4, beregnet til 4,15) er Q_M beregnet til $Q_M=193$ l/s/km². Middelflom ligger noe lavere enn verdien basert på observerte data for 3.11 Sagstubekken på 206 l/s/km² og verdien basert på Nevina for 3.11 Sagstubekken på 234 l/s/km².

Ved hjelp av gjennomsnittlig forholdstall fra frekvensanalysen (Tabell 3-4, beregnet til 3,81) er Q_{500} beregnet til 734 l/s/km².

3.10 Sammenligning mot flomberegning i område

Det ble også utført flomberegning for Stordammen 8 km mot vest i 2018 som ble godkjent av NVE. Endelig verdi ble da basert på flomfrekvensanalyse, regional analyse og NVEs formelverk.

Resultater for de tidligere beregningene er vist i Tabell 3-9.

Døgnmiddelflom for de tre flomberegninger ligger på samme nivå mellom 800-900 l/s/km². Døgnmiddelflom ved Stordammen har et meget lite felt og den største verdien.

Tabell 3-9: Døgnvannføring for 1000 årsflom fra flomberegning for Tvetervann og de tidligere flomberegningen for Stordammen i 2018.

Gjentaksinter vall	Metode	A (km ²)	Q_N (l/s*km ²)	Areal (km ²)	Døgn (l/s*km ²)	Kulminasjon (l/s*km ²)
Tvetervann, 2018	Flomfrekvensanalyse Regional analyse NVEs formelverk	5,6	11,4	5,6	800	1600
Stordammen, 2018	Flomfrekvensanalyse Regional analyse NVEs formelverk	1,2	12,5	1,2	900	2043

3.11 Flomforløp

3.11.1 Kulminasjonsfaktor

Forholdet mellom momentanflom og døgnflom beregnet etter formelverket i retningslinjene [4] for feltene er gitt i Tabell 3-10 sammen med valgte forholdstall. Vi har brukt beregnet kulminasjonsfaktor for høst, som gir en høyere verdi gitt at den dominerende flomsesongen i området vi ser på er årssesong (se avsnitt 3.3).

$$Q_{\text{mom}} / Q_{\text{døgn}} (\text{høst}) = 2,29 - 0,29 \cdot \log(A) - 0,27 \cdot \text{ASE}^{0,5}$$

$$Q_{\text{mom}} / Q_{\text{døgn}} (\text{vår}) = 1,72 - 0,17 \cdot \log(A) - 0,125 \cdot \text{ASE}^{0,5}$$

Tabell 3-10: Forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom

Felt	A (km ²)	ASE (%)	Formel		Valgt mom/døgn
			Vår	Høst	
Tvetervann	5,4	0,1	1,55	1,99	1,99
3.11 Sagstubekken	3,9	0,03	1,60	2,09	2,1

For vannmerket og Tvetervann som har lite feltareal og lav sjøprosent, er forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom for årsflom ca. 2,0.

Forholdstallene beregnet ved formlene i retningslinjene er sammenlignet med observerte forholdstall for et sammenlignbart vannmerke (Tabell 3-10). For vannmerket 3.11 Sagstubekken, har vi plukket ut forholdstall for de fem største flommene med 1-2 times oppløsning (Tabell 3-11). Observerte forholdstall for vannmerket i frekvensanalysen gir lavere verdier enn forholdstallene beregnet med formelverket i retningslinjene. Grunnen er at oppløsning av observasjonene varierer mellom 1,5- 2 timer og derfor blir det observerte forholdstallet noe lavere enn det beregnede forholdstallet. Forholdstallet vist i Tabell 3-10 er derfor valgt.

Tabell 3-11: Observerte forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom for vannmerket 3.11 Sagstubekken.

Dato	Q (m ³ /s)	Q _{mom} (m ³ /s)	Q _{mom} /Q
29.10.1967	2,0	2,64	1,3
21.12.1959	1,34	2,18	1,6
20.11.1970	1,11	1,54	1,4
29.10.1961	1,11	1,86	1,7
29.11.1954	1,07	1,57	1,5
Gjennomsnitt			1,5

3.11.2 Flomvarighet

Flommens varighet er vurdert ut fra kritisk varighet for magasinet og feltets konsentrasjonstid.

Kritisk varighet for magasinet med fast overløp er beregnet med formelen i retningslinjene [4] (Tabell 3-12). Formelen regner med fast overløpsbredde.

$$\text{Kritisk varighet (timer)} = T_k = 480 \times A_m \times Q^{-1/3} \times (C \times B)^{-2/3}$$

Hvor A_m er magasinareal ved HRV (km^2), B er det flomløpets lengde (m), C er overløpskoeffisient, og Q er tilløpsflom (m^3/s) som er beregnet som $4 \times Q_M$.

Feltets konsentrasjonstid, T_c , definert som vannets transporttid fra øverste del av feltet til magasinet. T_c er beregnet ut fra feltlengden L_f (m) og en antatt middelhastighet for vannet på $V=1,5$ m/s.

$$\text{Konsentrasjonstid (timer)} = T_c = L_f / V$$

Total varighet av tilløpsflommen bør være minst $1,5 \times (T_k + T_c)$ som gir 155 timer. Vår erfaring viser at for et lite overløp kan flomforløpet settes for mindre varighet. Dermed er det valgt å lage flomforløpet for 120 timer (5 dager).

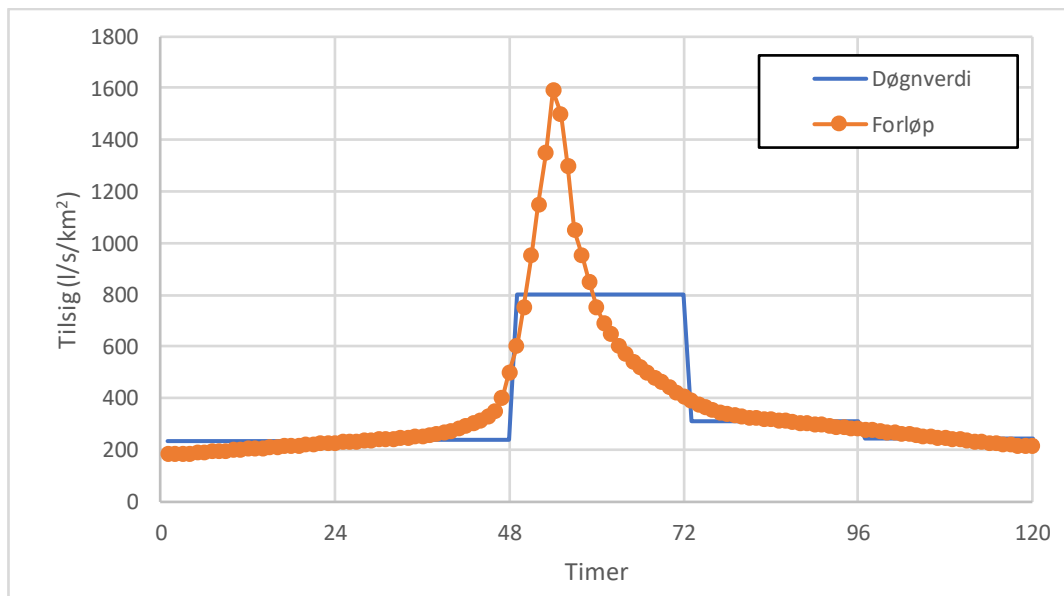
Tabell 3-12: Kritisk varighet, konsentrasjonstid og minst flomvarighet for Tvetervann.

Felt	A (km^2)	A_{mag} (km^2)	C	B (m)	L_f (m)	H (m)	A_{se}	T_k (timer)	T_c (timer)	Flomvarighet (timer)
Tvetervann	5,6	1,14	1,5	4	1980	92	0,1	102	7	155

3.11.3 Flomforløp

For å lage forløpet til damanlegget har vi brukt:

- Varighet 120 timer.
- En døgnverdi fra avsnitt 3.9 på 800 l/s/km^2 .
- Et forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom på 2,0 (Tabell 3-10).



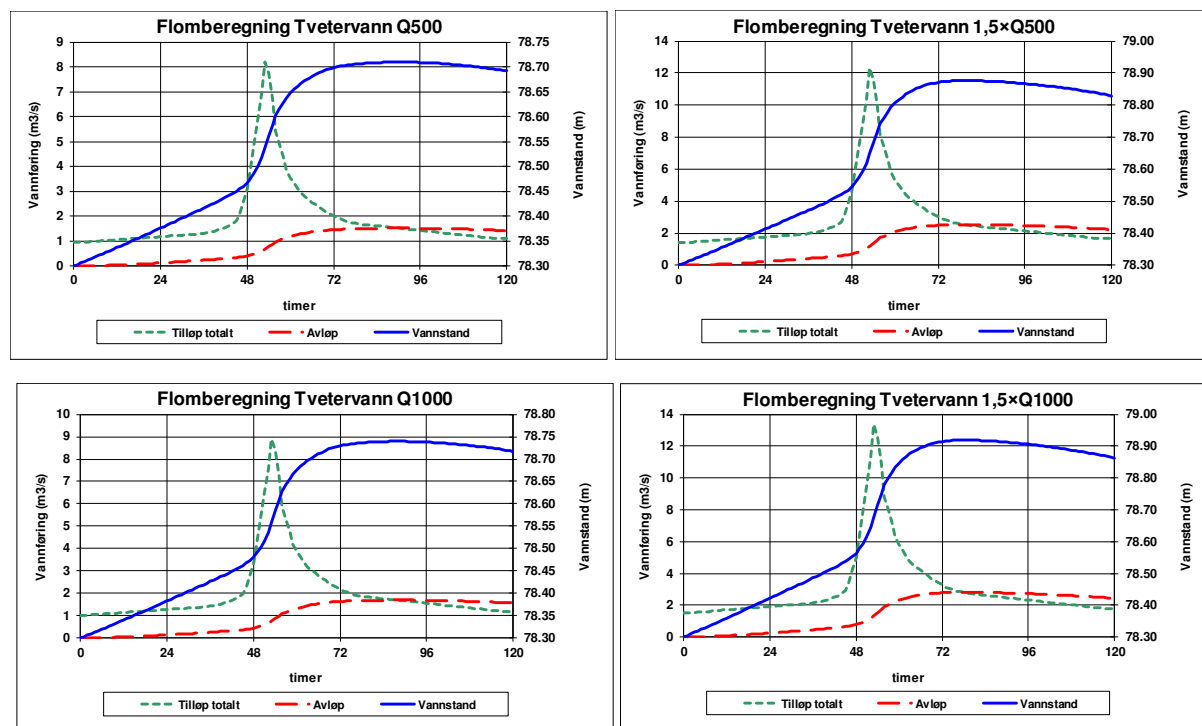
Figur 3-4: Forløp ved Tvetervann.

4 Resultater

Resultatene av beregningene er vist i Tabell 4-1 og Figur 4-1 og vedlagt i sin helhet i Vedlegg 7.2. Merk at avløpsverdiene kan avvike noe grunnet en finere tidsoppløsning enn timer i beregninger.

Tabell 4-1: Resultater flomberegning for dimensjonerende flom

Flom	HRV m o.h.	Tilløp m ³ /s	Avløp m ³ /s	Vannstand m o.h.	Over HRV m
Q ₅₀₀	78,30	8,20	1,52	78,71	0,41
1,5×Q ₅₀₀	78,30	12,30	2,54	78,88	0,58
Q ₁₀₀₀	78,30	8,9	1,7	78,74	0,44
1,5×Q ₁₀₀₀	78,30	13,4	2,8	78,92	0,62



Figur 4-1: Flomforløp Tvetervann. Q₅₀₀ og 1,5×Q₅₀₀ øverst, Q₁₀₀₀ og 1,5×Q₁₀₀₀ nederst.

5 Vurdering av beregningene

5.1 Datagrunnlag

Det er ikke noen direkte hydrologisk grunnlag i vassdraget eller i umiddelbar nærhet av damanlegget. Analysen er imidlertid basert på en omfattende regional flomvurdering. I tillegg er feltarealet svært lite. Flomberegningen vurderes derfor å ligge i kvalitetsklasse 3 på kanten mot 4 etter NVEs klassifiseringskriterier, jf. Tabell 8.1 i Retningslinjer for flomberegninger [4].

5.2 Sensitivitetsanalyse

Sensitiviteten til beregningene er vurdert ved å variere tilløpsflommen ved dimensjonerende flom med $\pm 10\%$ og avløpskapasiteten med $\pm 5\%$. Resultatet er vist i Tabell 5-1 som endring i m vannstand.

Variasjon i forutsetningene gir endringer i resultatene på mindre enn 5 cm. Vi vurderer derfor beregningen som lite sensitiv.

Tabell 5-1: Sensitivitetsanalyse av vannstand (m).

Tvetervann	Tilslig -10%	Tilslig +10%	C-faktor +5%	C-faktor -5%
Q ₅₀₀	-0,03	0,03	-0,01	0,01
Q ₁₀₀₀	-0,04	0,04	-0,01	0,01

5.3 Tilstopping og lukesvikt

Det er ikke utført beregninger med lukesvikt, fordi damanlegget ikke har flomluker som antas å være i bruk i denne flomberegningen.

Tilstopping er vurdert ved hjelp av [7]. Tvetervann ligger under tregrensen. Rundt magasinet er det i hovedsak buskvegetasjon og trær med trehøyde på mer enn 10 m. Det vurderes derfor å være fare for tilstopping fra trær ved Tvetervann, og det er derfor gjort beregninger med tilstopping her.

På Tvetervann er flomløpet på 4 m, noe som er mindre enn normal trehøyde i nedbørfeltet. Med en høydeåpning av overløpet på ca. 0,8 m er det fare for tilstopping av flomløpet. Busker og trær som kommer drivende, ventes å kunne tilstoppe flomløpet ved dimensjonerende flom. Spindel for ventil også kunne være medvirkede men hensyn til tilstopping.

Vi vurderer at det er fare for tilstopping og i hht. til [1] regnes det med 50 % redusert flomavledningskapasitet ved avledning av dimensjonerende flom. Resultater er vist i Tabell 5-2.

Tabell 5-2: Resultater hvor 50 % av overløpet er tilstoppet.

50% tilstopping	HRV	Tilløp m ³ /s	Avløp m ³ /s	Vannstand m o.h.	Vst. uten tilstopping m o.h.
Q ₅₀₀	78,30	8,2	1,1	78,81	78,71
Q ₁₀₀₀	78,30	8,9	1,2	78,85	78,74

Som det fremgår av tabellen medfører tilstoppingen at vannstanden stiger med ca. 10 cm med 50% tilstopping av flomløpet.

Med hensyn på is, så kan magasin muligens være islagt ved flom, siden det kan en sjelden gang opptre flommer på vinteren i dette området. Med lukket overløp (gangbru) og ingen lense oppstrøms, vurderer vi det derfor at det kan være tilstoppingsfare fra is. Vi vurderer slik tilstopping å ikke være større enn 50%.

5.4 Mulige konsekvenser av klimaendringer

I små vassdrags og urbane områder på Østlandet skal det brukes klimapåslag på minst 20 % [8].

NVE har utarbeidet en klimarapport [9] hvor det er gitt forventede endringer i flomstørrelser i Norge basert på en studie for ulike landsdeler. I henhold til retningslinjer gitt av NVE [4,9] bør det vurderes minst 20 % økning av flommene som konsekvens av klimaendringer for små felt på Østlandet. Resultatet er vist i Tabell 5-3. Vi kan se at en med slike klimaendringer må påregne ca. 0,07 m høyere vannstand med 20% klimapåslag og ca. 0,14 m høyere vannstand med 40% klimapåslag.

Tabell 5-3: Konsekvens av klimaendringer med klimapåslag 20 % og 40%.

Tvetervann	Tilløp m ³ /s	Avløp m ³ /s	Vannstand m o.h.	Vst. uten klimapåslag m o.h.
1,2×Q ₅₀₀	9,8	1,9	78,78	78,71
1,4×Q ₅₀₀	11,5	2,3	78,84	78,71
1,2×Q ₁₀₀₀	10,7	2,1	78,81	78,74
1,4×Q ₁₀₀₀	12,5	2,6	78,88	78,74

5.5 Sammenligning mot tidligere flomberegning

Det ble utført en flomberegning for Tvetervann av Norconsult AS (Berdals Strømme) i 1997 [10]. Disse verdiene er sammenlignet med de nye beregningene i Tabell 5-4. Ved beregningene i 1997 ble dimensjonerende flom beregnet ved hjelp av nedbør-avløpsmodell. Døgnmiddel 1000-årsflom ble da beregnet til 840 l/s/km² for Tvetervann.

Vannstanden til flommen som er beregnet i 2018 er sammenlignbar med flommen som ble beregnet i 1997, med ca. 45 cm flomstigning som resultat. Resultatene for de to flomberegninger er imidlertid ikke direkte sammenlignbare fordi tidligere flomberegning ble utført for et felt på 6,4 km² og et forholdstall kulminasjonsverdi/døgnverdi på 1,39 mens denne flomberegning er utført for et mindre felt (5,6 km²), og en svært høyere forholdstall kulminasjonsverdi/døgnverdi på 1,99.

Tilløpsflom i flomberegning fra 1997 tilsvarer 6,7 m³/s når det er arealkorrigert og tilsvarer 9,4 m³/s når det er korrigert for både areal- og kulminasjonsfaktor. Det er noe høyere enn verdien fra denne flomberegningen på 8,9 m³/s.

Tabell 5-4: Sammenligning med flomberegninger fra 1997.

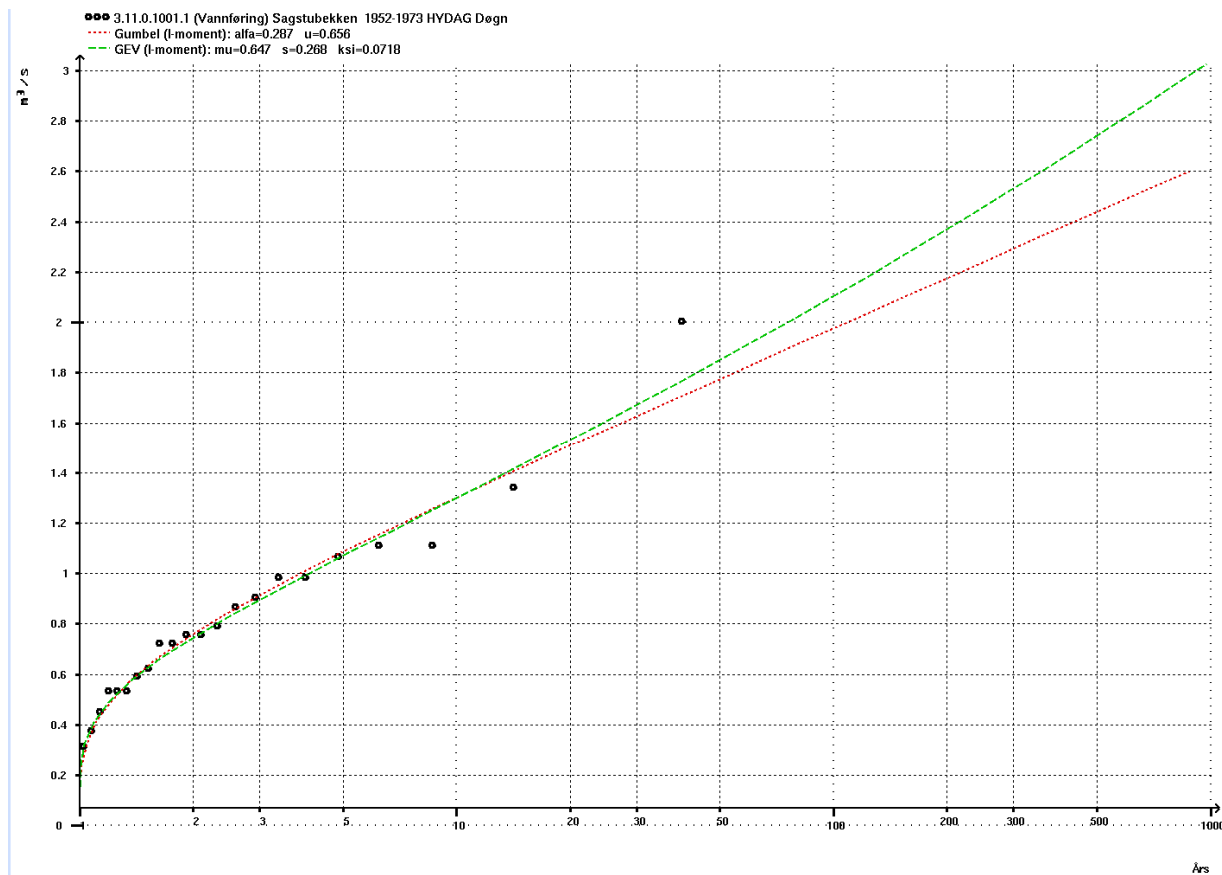
Tvetervann	Tilløp (m ³ /s)		Avløp (m ³ /s)		Flomstigning (m)	
	1997	2018	1997	2018	1997	2018
Q ₁₀₀₀	7,5	8,9	1,8	1,7	0,46	0,44

6 Referanser

1. NVE (2005), Retningslinjer for flomløp.
2. NVE (2013) Vannføringsstasjoner i Norge med felt mindre enn 50 km². rapport 66-2013.
3. NVE (2002) Avrenningskart for Norge.
4. NVE (2011), Retningslinjer for flomberegninger. Retningslinjer nr. 4 – 2011.
5. NVE (2015), Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. Veileder nr. 7 – 2015.
6. Bergen kommune (2005). Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune
7. Sintef NHL (1992), Tilstopping av flomløp. Rapport nr.4
8. NVE (2015), Klima i Norge 2100 (kap. 5.3.2). NCCS rapport 2-2015.
9. NVE, «Klimaendringer og framtidige flommer i Norge,» NVE, Oslo, 2016.
10. Berdals strømmen (1997), Flomberegning for Tvetervann. Oppdrag nr. 29224.

7 Vedlegg

7.1 Flomfrekvensanalyse



7.2 Utskrift fra beregningene

7.2.1 Q₅₀₀

Flomberegning Tvetervann Q500									
Timer	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand	Timer	Tilløp lokalt	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand	
0	0.9	0.0	78.30						
1	0.9	0.0	78.30	61	3.6	3.3	1.2	78.65	
2	0.9	0.0	78.31	62	3.4	3.1	1.3	78.66	
3	1.0	0.0	78.31	63	3.2	2.9	1.3	78.67	
4	1.0	0.0	78.31	64	3.0	2.8	1.3	78.67	
5	1.0	0.0	78.31	65	2.9	2.7	1.3	78.68	
6	1.0	0.0	78.32	66	2.8	2.6	1.4	78.68	
7	1.0	0.0	78.32	67	2.7	2.5	1.4	78.68	
8	1.0	0.0	78.32	68	2.6	2.4	1.4	78.69	
9	1.0	0.0	78.33	69	2.5	2.3	1.4	78.69	
10	1.0	0.0	78.33	70	2.4	2.2	1.4	78.69	
11	1.0	0.0	78.33	71	2.3	2.1	1.4	78.70	
12	1.1	0.0	78.34	72	2.2	2.0	1.5	78.70	
13	1.1	0.0	78.34	73	2.1	1.9	1.5	78.70	
14	1.1	0.1	78.34	74	2.0	1.9	1.5	78.70	
15	1.1	0.1	78.35	75	2.0	1.8	1.5	78.70	
16	1.1	0.1	78.35	76	1.9	1.8	1.5	78.70	
17	1.1	0.1	78.35	77	1.9	1.8	1.5	78.70	
18	1.1	0.1	78.36	78	1.9	1.7	1.5	78.71	
19	1.1	0.1	78.36	79	1.8	1.7	1.5	78.71	
20	1.1	0.1	78.36	80	1.8	1.7	1.5	78.71	
21	1.1	0.1	78.37	81	1.8	1.7	1.5	78.71	
22	1.2	0.1	78.37	82	1.8	1.6	1.5	78.71	
23	1.2	0.1	78.37	83	1.8	1.6	1.5	78.71	
24	1.2	0.1	78.38	84	1.8	1.6	1.5	78.71	
25	1.2	0.1	78.38	85	1.7	1.6	1.5	78.71	
26	1.2	0.1	78.38	86	1.7	1.6	1.5	78.71	
27	1.2	0.1	78.39	87	1.7	1.6	1.5	78.71	
28	1.2	0.2	78.39	88	1.7	1.6	1.5	78.71	
29	1.2	0.2	78.39	89	1.7	1.5	1.5	78.71	
30	1.2	0.2	78.40	90	1.7	1.5	1.5	78.71	
31	1.2	0.2	78.40	91	1.6	1.5	1.5	78.71	
32	1.3	0.2	78.40	92	1.6	1.5	1.5	78.71	
33	1.3	0.2	78.41	93	1.6	1.5	1.5	78.71	
34	1.3	0.2	78.41	94	1.6	1.5	1.5	78.71	
35	1.3	0.2	78.41	95	1.6	1.4	1.5	78.71	
36	1.3	0.2	78.42	96	1.6	1.4	1.5	78.71	
37	1.3	0.2	78.42	97	1.5	1.4	1.5	78.71	
38	1.4	0.3	78.42	98	1.5	1.4	1.5	78.71	
39	1.4	0.3	78.43	99	1.5	1.4	1.5	78.71	
40	1.4	0.3	78.43	100	1.5	1.4	1.5	78.71	
41	1.5	0.3	78.43	101	1.5	1.3	1.5	78.71	
42	1.5	0.3	78.44	102	1.5	1.3	1.5	78.71	
43	1.6	0.3	78.44	103	1.4	1.3	1.5	78.71	
44	1.7	0.3	78.45	104	1.4	1.3	1.5	78.71	
45	1.8	0.3	78.45	105	1.4	1.3	1.5	78.70	
46	2.1	0.4	78.45	106	1.4	1.3	1.5	78.70	
47	2.6	0.4	78.46	107	1.4	1.3	1.5	78.70	
48	3.1	0.4	78.47	108	1.3	1.2	1.5	78.70	
49	3.9	0.4	78.48	109	1.3	1.2	1.5	78.70	
50	4.9	0.5	78.49	110	1.3	1.2	1.5	78.70	
51	5.9	0.5	78.50	111	1.3	1.2	1.5	78.70	
52	7.0	0.6	78.52	112	1.3	1.2	1.5	78.70	
53	8.2	0.7	78.54	113	1.3	1.2	1.5	78.70	
54	7.7	0.8	78.56	114	1.2	1.1	1.5	78.70	
55	6.7	0.9	78.58	115	1.2	1.1	1.4	78.70	
56	5.4	1.0	78.60	116	1.2	1.1	1.4	78.70	
57	4.9	1.0	78.62	117	1.2	1.1	1.4	78.69	
58	4.4	1.1	78.63	118	1.2	1.1	1.4	78.69	
59	3.9	1.1	78.64	119	1.2	1.1	1.4	78.69	
60	3.6	1.2	78.65	120	1.2	1.1	1.4	78.69	

7.2.2 Q₁₀₀₀

Flomberegning Tvetervann Q1000								
Timer	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand	Timer	Tilløp lokalt	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand
0	1.0	0.0	78.30					
1	1.0	0.0	78.30	61	3.6	3.6	1.4	78.68
2	1.0	0.0	78.31	62	3.4	3.4	1.4	78.69
3	1.0	0.0	78.31	63	3.2	3.2	1.4	78.70
4	1.1	0.0	78.31	64	3.0	3.0	1.5	78.70
5	1.1	0.0	78.32	65	2.9	2.9	1.5	78.71
6	1.1	0.0	78.32	66	2.8	2.8	1.5	78.71
7	1.1	0.0	78.32	67	2.7	2.7	1.6	78.72
8	1.1	0.0	78.33	68	2.6	2.6	1.6	78.72
9	1.1	0.0	78.33	69	2.5	2.5	1.6	78.72
10	1.1	0.0	78.33	70	2.4	2.4	1.6	78.72
11	1.1	0.0	78.34	71	2.3	2.3	1.6	78.73
12	1.1	0.0	78.34	72	2.2	2.2	1.6	78.73
13	1.2	0.1	78.34	73	2.1	2.1	1.6	78.73
14	1.2	0.1	78.35	74	2.0	2.0	1.6	78.73
15	1.2	0.1	78.35	75	2.0	2.0	1.7	78.73
16	1.2	0.1	78.35	76	1.9	1.9	1.7	78.73
17	1.2	0.1	78.36	77	1.9	1.9	1.7	78.74
18	1.2	0.1	78.36	78	1.9	1.9	1.7	78.74
19	1.2	0.1	78.36	79	1.8	1.8	1.7	78.74
20	1.2	0.1	78.37	80	1.8	1.8	1.7	78.74
21	1.2	0.1	78.37	81	1.8	1.8	1.7	78.74
22	1.3	0.1	78.38	82	1.8	1.8	1.7	78.74
23	1.3	0.1	78.38	83	1.8	1.8	1.7	78.74
24	1.3	0.1	78.38	84	1.8	1.8	1.7	78.74
25	1.3	0.1	78.39	85	1.7	1.7	1.7	78.74
26	1.3	0.2	78.39	86	1.7	1.7	1.7	78.74
27	1.3	0.2	78.39	87	1.7	1.7	1.7	78.74
28	1.3	0.2	78.40	88	1.7	1.7	1.7	78.74
29	1.3	0.2	78.40	89	1.7	1.7	1.7	78.74
30	1.3	0.2	78.40	90	1.7	1.7	1.7	78.74
31	1.4	0.2	78.41	91	1.6	1.6	1.7	78.74
32	1.4	0.2	78.41	92	1.6	1.6	1.7	78.74
33	1.4	0.2	78.41	93	1.6	1.6	1.7	78.74
34	1.4	0.2	78.42	94	1.6	1.6	1.7	78.74
35	1.4	0.2	78.42	95	1.6	1.6	1.7	78.74
36	1.4	0.3	78.43	96	1.6	1.6	1.7	78.74
37	1.5	0.3	78.43	97	1.5	1.5	1.7	78.74
38	1.5	0.3	78.43	98	1.5	1.5	1.7	78.74
39	1.5	0.3	78.44	99	1.5	1.5	1.7	78.74
40	1.6	0.3	78.44	100	1.5	1.5	1.7	78.74
41	1.6	0.3	78.44	101	1.5	1.5	1.7	78.74
42	1.7	0.3	78.45	102	1.5	1.5	1.7	78.73
43	1.7	0.3	78.45	103	1.4	1.4	1.7	78.73
44	1.8	0.4	78.46	104	1.4	1.4	1.7	78.73
45	2.0	0.4	78.46	105	1.4	1.4	1.7	78.73
46	2.2	0.4	78.47	106	1.4	1.4	1.6	78.73
47	2.8	0.4	78.47	107	1.4	1.4	1.6	78.73
48	3.4	0.4	78.48	108	1.3	1.3	1.6	78.73
49	4.2	0.5	78.49	109	1.3	1.3	1.6	78.73
50	5.3	0.5	78.50	110	1.3	1.3	1.6	78.73
51	6.4	0.6	78.52	111	1.3	1.3	1.6	78.73
52	7.6	0.7	78.54	112	1.3	1.3	1.6	78.73
53	8.9	0.8	78.56	113	1.3	1.3	1.6	78.73
54	8.4	0.9	78.58	114	1.2	1.2	1.6	78.72
55	7.3	1.0	78.61	115	1.2	1.2	1.6	78.72
56	5.9	1.1	78.63	116	1.2	1.2	1.6	78.72
57	5.3	1.2	78.64	117	1.2	1.2	1.6	78.72
58	4.8	1.2	78.65	118	1.2	1.2	1.6	78.72
59	4.2	1.3	78.67	119	1.2	1.2	1.6	78.72
60	3.9	1.3	78.68	120	1.2	1.2	1.6	78.72

7.2.3 1,5×Q₅₀₀

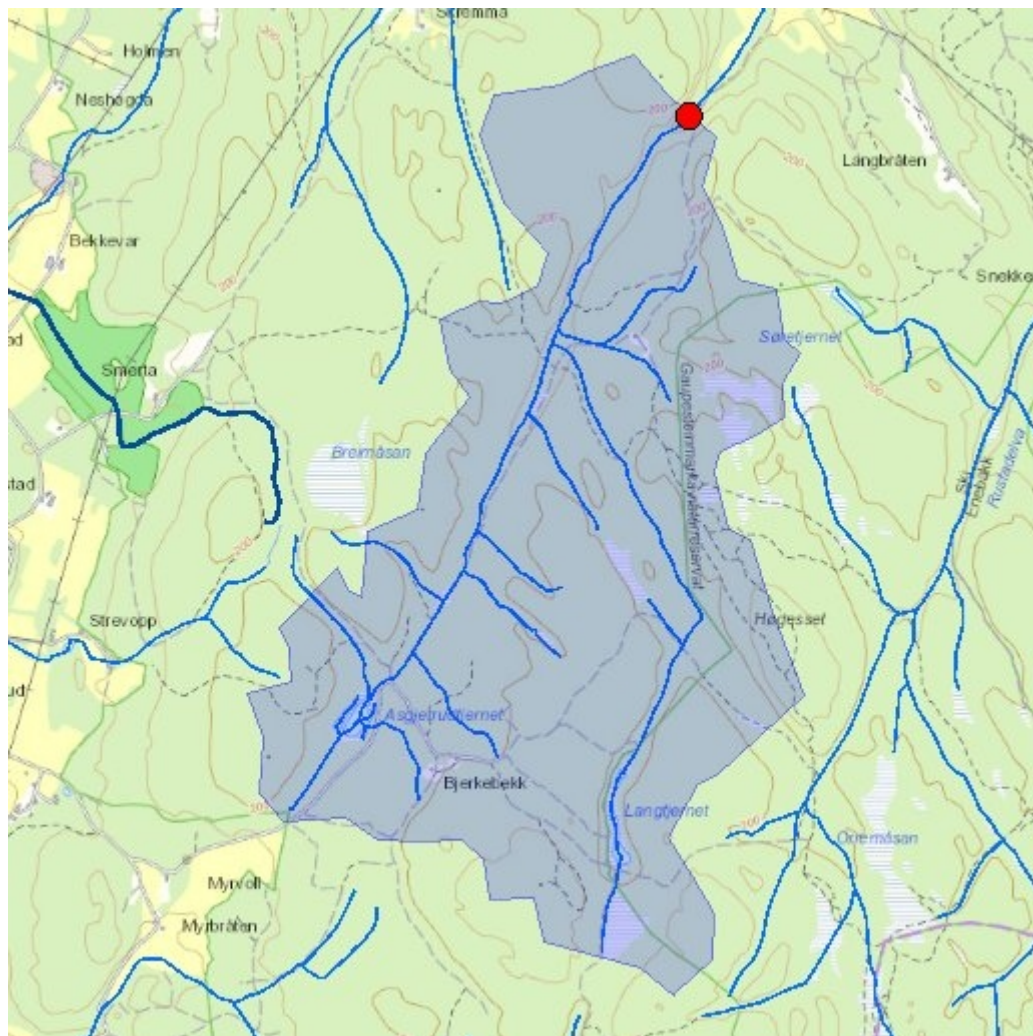
Flomberegning Tvetervann 1,5×Q ₅₀₀									
Timer	Tilløp lokalt	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand	Timer	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand	
0	1.5	1.4	0.0	78.30					
1	1.5	1.4	0.0	78.30	61	5.0	2.2	78.82	
2	1.5	1.4	0.0	78.31	62	4.6	2.2	78.83	
3	1.6	1.4	0.0	78.31	63	4.4	2.3	78.83	
4	1.6	1.5	0.0	78.32	64	4.2	2.3	78.84	
5	1.6	1.5	0.0	78.32	65	4.0	2.3	78.85	
6	1.6	1.5	0.0	78.33	66	3.9	2.4	78.85	
7	1.6	1.5	0.0	78.33	67	3.7	2.4	78.86	
8	1.6	1.5	0.0	78.34	68	3.6	2.4	78.86	
9	1.7	1.5	0.0	78.34	69	3.4	2.5	78.86	
10	1.7	1.5	0.1	78.35	70	3.2	2.5	78.87	
11	1.7	1.6	0.1	78.35	71	3.1	2.5	78.87	
12	1.7	1.6	0.1	78.35	72	3.0	2.5	78.87	
13	1.7	1.6	0.1	78.36	73	2.9	2.5	78.87	
14	1.7	1.6	0.1	78.36	74	2.8	2.5	78.87	
15	1.8	1.6	0.1	78.37	75	2.7	2.5	78.88	
16	1.8	1.6	0.1	78.37	76	2.7	2.5	78.88	
17	1.8	1.7	0.1	78.38	77	2.6	2.5	78.88	
18	1.8	1.7	0.1	78.38	78	2.6	2.5	78.88	
19	1.8	1.7	0.2	78.39	79	2.6	2.5	78.88	
20	1.8	1.7	0.2	78.39	80	2.5	2.5	78.88	
21	1.9	1.7	0.2	78.40	81	2.5	2.5	78.88	
22	1.9	1.7	0.2	78.40	82	2.5	2.5	78.88	
23	1.9	1.7	0.2	78.41	83	2.4	2.5	78.88	
24	1.9	1.8	0.2	78.41	84	2.4	2.5	78.88	
25	1.9	1.8	0.2	78.42	85	2.4	2.5	78.88	
26	1.9	1.8	0.2	78.42	86	2.4	2.5	78.88	
27	2.0	1.8	0.3	78.43	87	2.3	2.5	78.87	
28	2.0	1.8	0.3	78.43	88	2.3	2.5	78.87	
29	2.0	1.8	0.3	78.44	89	2.3	2.5	78.87	
30	2.0	1.9	0.3	78.44	90	2.3	2.5	78.87	
31	2.0	1.9	0.3	78.45	91	2.3	2.5	78.87	
32	2.0	1.9	0.3	78.45	92	2.2	2.5	78.87	
33	2.1	1.9	0.4	78.46	93	2.2	2.5	78.87	
34	2.1	1.9	0.4	78.46	94	2.2	2.5	78.87	
35	2.1	1.9	0.4	78.47	95	2.2	2.5	78.87	
36	2.1	2.0	0.4	78.47	96	2.1	2.5	78.87	
37	2.2	2.0	0.4	78.48	97	2.1	2.5	78.87	
38	2.2	2.0	0.4	78.48	98	2.1	2.5	78.87	
39	2.3	2.1	0.5	78.49	99	2.1	2.5	78.86	
40	2.4	2.2	0.5	78.49	100	2.0	2.4	78.86	
41	2.4	2.2	0.5	78.50	101	2.0	2.4	78.86	
42	2.5	2.3	0.5	78.50	102	2.0	2.4	78.86	
43	2.6	2.4	0.5	78.51	103	2.0	2.4	78.86	
44	2.8	2.6	0.6	78.51	104	2.0	2.4	78.86	
45	2.9	2.7	0.6	78.52	105	1.9	2.4	78.86	
46	3.4	3.1	0.6	78.53	106	1.9	2.4	78.85	
47	4.2	3.9	0.7	78.53	107	1.9	2.4	78.85	
48	5.0	4.6	0.7	78.54	108	1.9	2.4	78.85	
49	6.3	5.8	0.8	78.56	109	1.8	2.4	78.85	
50	8.0	7.3	0.8	78.57	110	1.8	2.4	78.85	
51	9.7	8.9	0.9	78.59	111	1.8	2.3	78.85	
52	11.3	10.4	1.0	78.62	112	1.8	2.3	78.84	
53	13.4	12.3	1.2	78.65	113	1.7	2.3	78.84	
54	12.6	11.6	1.4	78.68	114	1.7	2.3	78.84	
55	10.9	10.0	1.6	78.72	115	1.7	2.3	78.84	
56	8.8	8.1	1.7	78.74	116	1.7	2.3	78.84	
57	8.0	7.3	1.8	78.76	117	1.7	2.3	78.84	
58	7.1	6.6	1.9	78.78	118	1.7	2.3	78.83	
59	6.3	5.8	2.0	78.79	119	1.7	2.2	78.83	
60	5.8	5.3	2.1	78.81	120	1.7	2.2	78.83	

7.2.4 1,5×Q₁₀₀₀

Flomberegning Tvetervann 1,5×Q ₁₀₀₀								
Timer	Tilløp lokalt	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand	Timer	Tilløp totalt	Avløp	Vannstand
0	1.5	1.5	0.0	78.30				
1	1.5	1.5	0.0	78.30	61	5.5	2.4	78.86
2	1.5	1.5	0.0	78.31	62	5.0	2.5	78.87
3	1.6	1.6	0.0	78.31	63	4.8	2.5	78.88
4	1.6	1.6	0.0	78.32	64	4.5	2.6	78.88
5	1.6	1.6	0.0	78.32	65	4.4	2.6	78.89
6	1.6	1.6	0.0	78.33	66	4.2	2.7	78.89
7	1.6	1.6	0.0	78.33	67	4.0	2.7	78.90
8	1.6	1.6	0.0	78.34	68	3.9	2.7	78.90
9	1.7	1.7	0.1	78.34	69	3.7	2.7	78.91
10	1.7	1.7	0.1	78.35	70	3.5	2.8	78.91
11	1.7	1.7	0.1	78.35	71	3.4	2.8	78.91
12	1.7	1.7	0.1	78.36	72	3.3	2.8	78.91
13	1.7	1.7	0.1	78.36	73	3.2	2.8	78.92
14	1.7	1.7	0.1	78.37	74	3.1	2.8	78.92
15	1.8	1.8	0.1	78.38	75	3.0	2.8	78.92
16	1.8	1.8	0.1	78.38	76	2.9	2.8	78.92
17	1.8	1.8	0.1	78.39	77	2.9	2.8	78.92
18	1.8	1.8	0.2	78.39	78	2.8	2.8	78.92
19	1.8	1.8	0.2	78.40	79	2.8	2.8	78.92
20	1.8	1.8	0.2	78.40	80	2.7	2.8	78.92
21	1.9	1.9	0.2	78.41	81	2.7	2.8	78.92
22	1.9	1.9	0.2	78.41	82	2.7	2.8	78.92
23	1.9	1.9	0.2	78.42	83	2.7	2.8	78.92
24	1.9	1.9	0.2	78.42	84	2.6	2.8	78.92
25	1.9	1.9	0.3	78.43	85	2.6	2.8	78.92
26	1.9	1.9	0.3	78.43	86	2.6	2.8	78.92
27	2.0	2.0	0.3	78.44	87	2.6	2.8	78.92
28	2.0	2.0	0.3	78.44	88	2.5	2.8	78.91
29	2.0	2.0	0.3	78.45	89	2.5	2.8	78.91
30	2.0	2.0	0.4	78.45	90	2.5	2.8	78.91
31	2.0	2.0	0.4	78.46	91	2.5	2.8	78.91
32	2.0	2.0	0.4	78.46	92	2.4	2.8	78.91
33	2.1	2.1	0.4	78.47	93	2.4	2.8	78.91
34	2.1	2.1	0.4	78.47	94	2.4	2.8	78.91
35	2.1	2.1	0.4	78.48	95	2.4	2.7	78.91
36	2.1	2.1	0.5	78.49	96	2.3	2.7	78.91
37	2.2	2.2	0.5	78.49	97	2.3	2.7	78.90
38	2.2	2.2	0.5	78.50	98	2.3	2.7	78.90
39	2.3	2.3	0.5	78.50	99	2.3	2.7	78.90
40	2.4	2.4	0.5	78.51	100	2.2	2.7	78.90
41	2.4	2.4	0.6	78.51	101	2.2	2.7	78.90
42	2.5	2.5	0.6	78.52	102	2.2	2.7	78.90
43	2.6	2.6	0.6	78.52	103	2.2	2.7	78.90
44	2.8	2.8	0.6	78.53	104	2.1	2.7	78.89
45	2.9	2.9	0.7	78.54	105	2.1	2.6	78.89
46	3.4	3.4	0.7	78.54	106	2.1	2.6	78.89
47	4.2	4.2	0.7	78.55	107	2.0	2.6	78.89
48	5.0	5.0	0.8	78.56	108	2.0	2.6	78.89
49	6.3	6.3	0.8	78.58	109	2.0	2.6	78.89
50	8.0	8.0	0.9	78.59	110	2.0	2.6	78.88
51	9.7	9.7	1.0	78.62	111	1.9	2.6	78.88
52	11.3	11.3	1.2	78.64	112	1.9	2.6	78.88
53	13.4	13.4	1.3	78.68	113	1.9	2.5	78.88
54	12.6	12.6	1.5	78.71	114	1.9	2.5	78.88
55	10.9	10.9	1.7	78.75	115	1.8	2.5	78.87
56	8.8	8.8	1.9	78.78	116	1.8	2.5	78.87
57	8.0	8.0	2.1	78.80	117	1.8	2.5	78.87
58	7.1	7.1	2.2	78.82	118	1.8	2.5	78.87
59	6.3	6.3	2.3	78.83	119	1.8	2.5	78.86
60	5.8	5.8	2.3	78.85	120	1.8	2.4	78.86

7.3 Nevina rapport

Se neste side.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 003.G
 Kommune: Ski
 Fylke: Akershus
 Vassdrag: Mossevassdraget

Feltparametere

Areal (A)	3,4 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 %
Elvelengde (E _L)	3,3 km
Elvegradient (E _G)	-44,6 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	8,8 m/km
Feltlengde(F _L)	3,1 km
H _{min}	152 moh.
H ₁₀	186 moh.
H ₂₀	191 moh.
H ₃₀	193 moh.
H ₄₀	195 moh.
H ₅₀	198 moh.
H ₆₀	200 moh.
H ₇₀	203 moh.
H ₈₀	206 moh.
H ₉₀	212 moh.
H _{max}	235 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	0,0 %
Myr	2,8 %
Sjø	0,5 %
Skog	96,7 %
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	19,0 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,5 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,6 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	1,1 l/(s*km ²)
Base flow	7,0 l/(s*km ²)
BFI	0,4

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	778 mm
Sommernedbør	378 mm
Vinternedbør	400 mm
Årstemperatur	4,7 °C
Sommertemperatur	12,5 °C
Vintertemperatur	-0,9 °C
Temperatur Juli	15,2 °C
Temperatur August	14,2 °C

1) Verdien er editert



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

NVE

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

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

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

Flomberegning

Vassdragsnr.: 003.G

Kommune: Ski

Fylke: Akershus

Vassdrag: Mossevassdraget

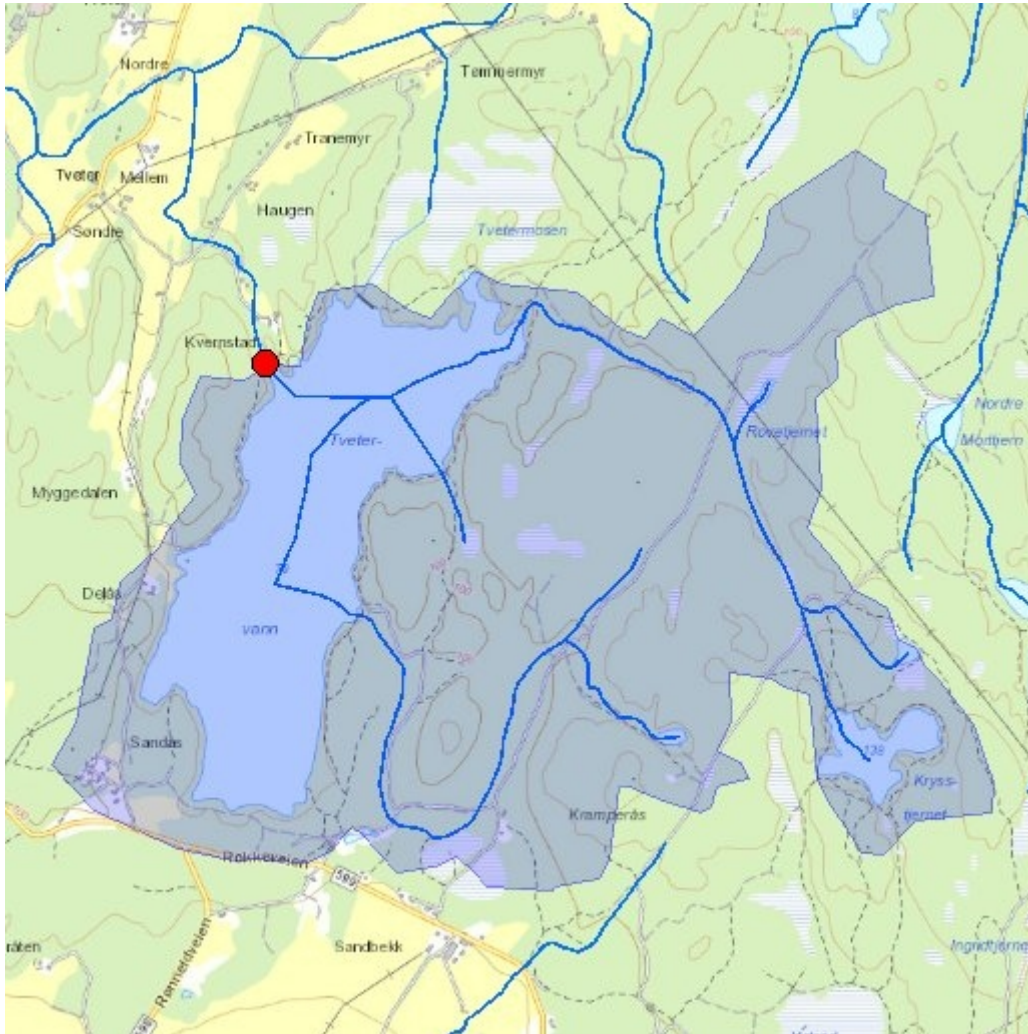
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse av formelverket henvises det til NVE –Rapport 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». Det pågår fortsatt forskning for å
Det pågår fortsatt forskning for å bestemme klimapåslag for momentanflommer i små nedbørfelt. Frem til resultatene fra disse prosjektene foreligger anbefales et klimapåslag på 1.2 for døgnmiddelflom og 1.4 for kulminasjonsflom i små nedbørfelt.

Mossevassdraget

Areal (km ²)	3,44
Klimafaktor	1,4

	Q ^M		Q ⁵	Q ¹⁰	Q ²⁰	Q ⁵⁰	Q ¹⁰⁰	Q ²⁰⁰
	m ³ /s	l/(s*km ²)						
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1,26	1,50	1,75	2,13	2,46	2,83
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	3,0	869,6	3,9	4,7	5,6	7,0	8,3	9,6
Flomverdier (m ³ /s)	1,7	491	2,1	2,5	3,0	3,6	4,2	4,8
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	1,0	278	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,4
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	2,4	687,8	2,1	3,5	4,1	5,0	5,8	6,7

Beregningene er automatisk generert og kan inneholde feil. Det er generelt stor usikkerhet i denne typen beregninger. Resultatene må verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. Resultatene er ikke gyldig som grunnlag til flomberegninger for klassifiserte dammer.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.A5B
Kommune: Sarpsborg
Fylke: Østfold
Vassdrag: Isoa

Feltparametere

Areal (A)	5,6 km ²
Effektiv sjø (S_{eff})	20,3 %
Elvelengde (E_L)	4,2 km
Elvegradient (E_G)	9,0 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G_{1085})	6,6 m/km
Feltlengde (F_L)	3,2 km
H_{min}	78 moh.
H_{10}	79 moh.
H_{20}	moh.
H_{30}	84 moh.
H_{40}	94 moh.
H_{50}	100 moh.
H_{60}	104 moh.
H_{70}	111 moh.
H_{80}	122 moh.
H_{90}	135 moh.
H_{max}	170 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	0,8 %
Myr	2,3 %
Sjø	21,9 %
Skog	74,4 %
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	11,4 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	1,8 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	1,8 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,7 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	70,2 l/(s*km ²)
Base flow	5,4 l/(s*km ²)
BFI	0,5

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	823 mm
Sommernedbør	376 mm
Vinternedbør	447 mm
Årstemperatur	5,6 °C
Sommertemperatur	13,1 °C
Vintertemperatur	0,3 °C
Temperatur Juli	15,7 °C
Temperatur August	14,8 °C

1) Verdien er editert

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

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

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.A5B

Kommune: Sarpsborg

Fylke: Østfold

Vassdrag: Isoa

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse av formelverket henvises det til NVE –Rapport 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». Det pågår fortsatt forskning for å
Det pågår fortsatt forskning for å bestemme klimapåslag for momentanflommer i små nedbørfelt. Frem til resultatene fra disse prosjektene foreligger anbefales et klimapåslag på 1.2 for døgnmiddelflom og 1.4 for kulminasjonsflom i små nedbørfelt.

Isoa	
Areal (km ²)	5,64
Klimafaktor	1,4

	Q ^M		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
	m ³ /s	l/(s*km ²)						
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1,27	1,59	1,98	2,66	3,32	4,16
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	1,0	175,7	1,3	1,6	2,1	2,9	3,7	4,7
Flomverdier (m ³ /s)	0,6	99	0,7	0,9	1,1	1,5	1,9	2,3
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,3	56	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,8	139,0	0,7	1,2	1,6	2,1	2,6	3,3

Beregningene er automatisk generert og kan inneholde feil. Det er generelt stor usikkerhet i denne typen beregninger. Resultatene må verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. Resultatene er ikke gyldig som grunnlag til flomberegninger for klassifiserte dammer.

7.4 Damtegninger

Se neste side.

