



Flomsonekartprosjektet  
**Flomberegning  
for Mosby**

*Thomas Væringstad*

13  
2005



D  
O  
K  
U  
M  
E  
N  
T

# **Flomberegning for Mosby (021.Z)**

Norges vassdrags- og energidirektorat

2005

## Dokument nr. 13 - 2005

### Flomberegning for Mosby (021.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Thomas Væringstad

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 30

Forsidefoto: Otra ved Mosby 17. oktober 1987. Kjartan Bjelland.

ISSN: 1501-2840

**Sammendrag:** I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for et delprosjekt ved Mosby i Otra, Vest-Agder. Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentakintervall er beregnet for ett punkt i vassdraget.

**Emneord:** Flomberegning, flomvannføring, Otra, Mosby

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

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

September 2005

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Beskrivelse av oppgaven</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Beskrivelse av vassdraget</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Hydrometriske stasjoner</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Beregning av flomverdier</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1. Flomfrekvensanalyser</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2. Beregning av middelflom og 5 – 500 års flom</b> .....	<b>18</b>
<b>4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring</b> .....	<b>19</b>
<b>5. Usikkerhet</b> .....	<b>21</b>
<b>Referanser</b> .....	<b>22</b>

# Forord

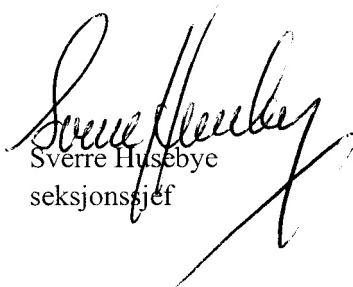
Flomsonekartlegging er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Beregning av flomvannføringer på flomutsatte elvestrekninger er en del av dette arbeidet. Grunnlaget for flomberegninger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

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med flomsonekartlegging av flomutsatt elvestrekning ved Mosby i Otra i Vest-Agder. Rapporten er utarbeidet av Thomas Væringstad og kvalitetskontrollert av Erik Holmqvist.

Oslo, september 2005



Morten Johnsrud  
avdelingsdirektør



Sverre Husebye  
seksjonssjef

# Sammendrag

Flomberegningen for Mosby omfatter delprosjekt fs 021\_1 Mosby i NVEs Flomsonekartprosjekt. Mosby ligger rundt 10 km fra kysten i Otra på Sørlandet i Kristiansand kommune på grensen til Vennesla. Vassdraget er sterkt regulert. Store flommer kan forekomme hele året, men som oftest inntreffer de om høsten. Flomepisoder er normalt forårsaket av intens nedbør i form av regn, gjerne i kombinasjon med snøsmelting.

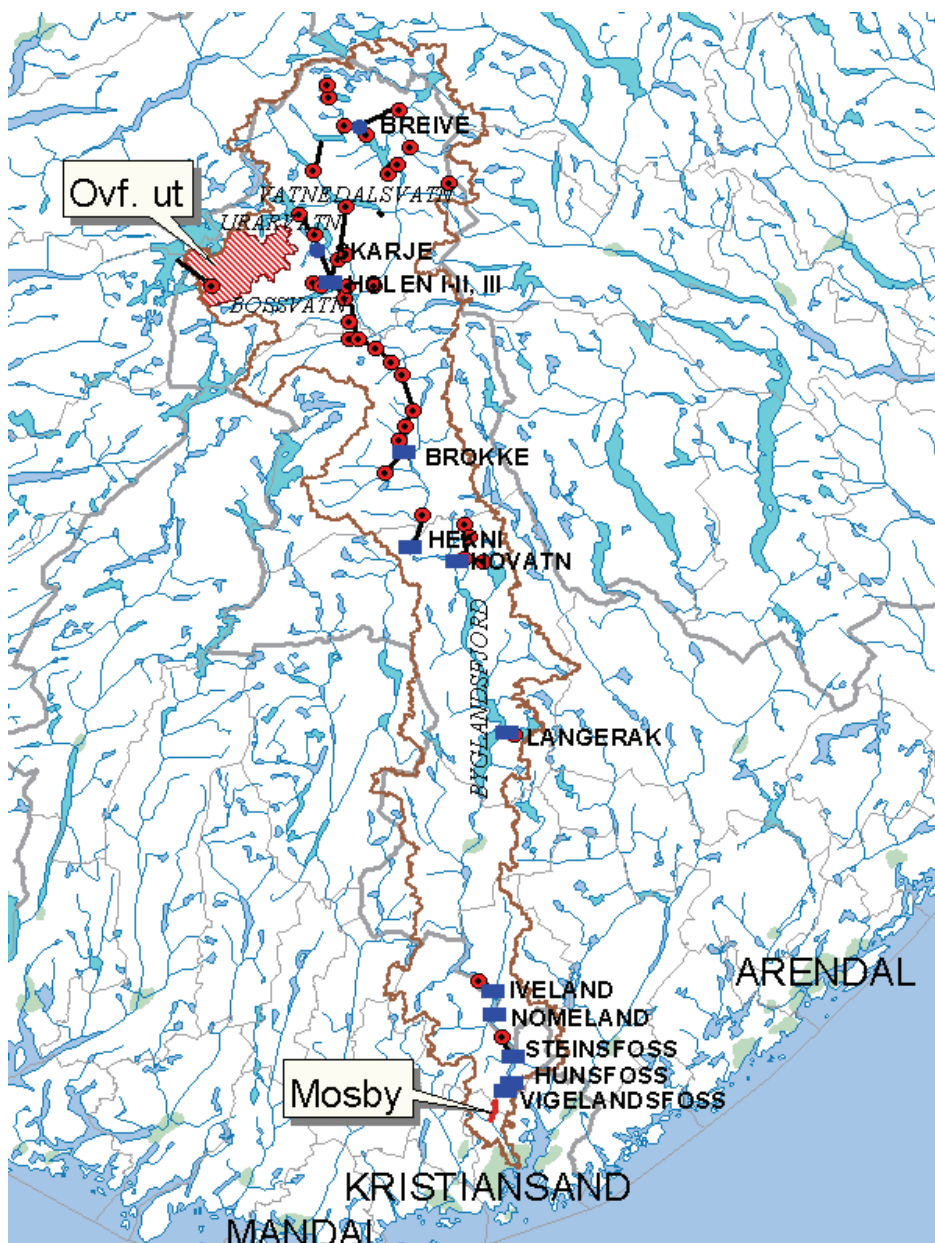
Det foreligger vannføringsdata fra vassdraget. Flomberegningen er i hovedsak basert på frekvensanalyser av observerte flommer ved målestasjoner i vassdraget og sammenlignet med regionale flomfrekvensformler. Det er beregnet kulminasjonsvannføring for ulike gjentaksintervall ved utløpet i sjøen. Det er antatt at kulminasjonsvannføringen er 15 % større enn døgnmiddelvannføringen for alle gjentaksintervall. Resultatene av beregningene ble:

	$Q_M$ m <sup>3</sup> /s	$Q_5$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{10}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{20}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{50}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{100}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{200}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{500}$ m <sup>3</sup> /s
Otra ved utløpet i sjøen	580	790	930	1050	1220	1400	1560	1750

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig, og det er mange faktorer som spiller inn. På grunn av at datagrunnlag i OTRAS nedbørfelt er sterkt påvirket av reguleringer med ulik virkningsgrad gjennom observasjonsperioden, klassifiseres denne flomberegningen i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

# 1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for flomutsatt elvestrekning i Mosby i Kristiansand og Vennesla kommuner i Vest-Agder, delprosjekt fs 021\_1 Mosby i NVEs Flomsonekartprosjekt. Som grunnlag for konstruksjon av flomsonekart skal kulminasjonsverdier av midlere flom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes ved Otras utløp i sjøen. Den aktuelle strekningen som skal flomsonekartlegges er ca. 2 km lang og ligger ved Mosby sentrum. Kart over Otras nedbørfelt er vist i figur 1 og strekning som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med rødt.



Figur 1. Kart over Otras nedbørfelt. Strekningen som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med rødt. Kraftverk, større magasiner og overføringer er også vist.

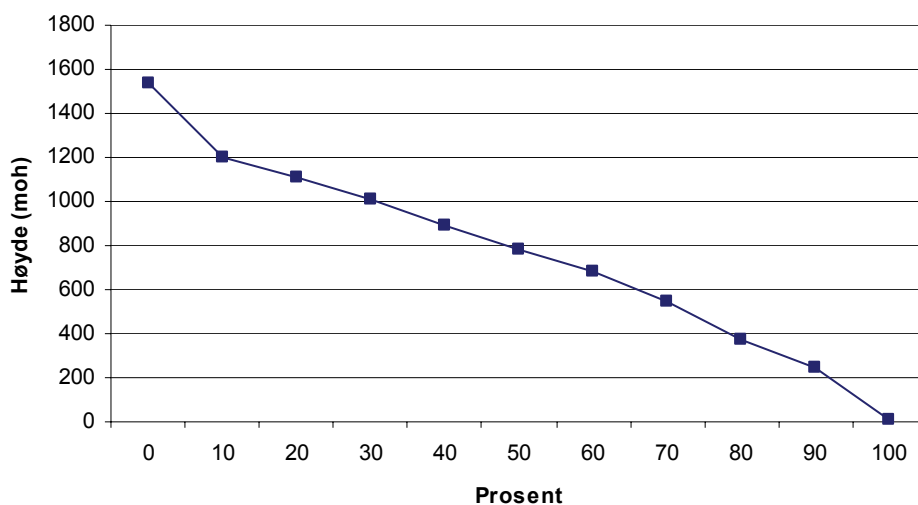
## 2. Beskrivelse av vassdraget

Otra ligger i all hovedsak i Aust- og Vest-Agder. Nedbørfeltet drenerer i sørlig retning og munner ut i sjøen ved Kristiansand. Vassdraget består av en hovedgren med tilløp fra flere sideelver. Nedbørfeltet har et totalt areal på 3750 km<sup>2</sup>. Høydefordelingen strekker seg fra havnivå til opp i vel 1500 moh. Median høyde er på ca 780 moh. og høyeste punkt i vassdraget er Kvannefjellet i Tokke kommune på 1537 moh. Hypsografisk kurve for vassdraget er vist i figur 2 og aktuelle feltparametere er oppsummert i tabell 1.

Tabell 1. Feltparametere for Otras nedbørfelt.

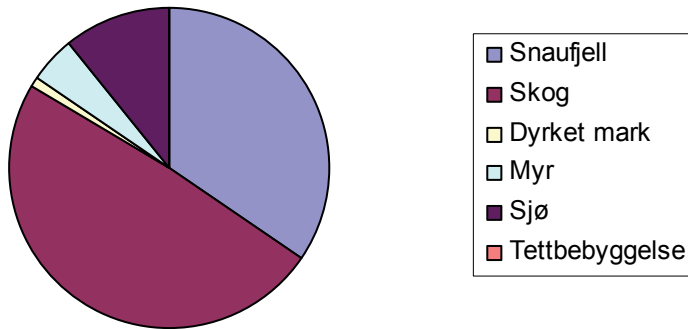
	Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjø %	Sjø %	Feltlengde km	Normalavløp, Q <sub>N</sub> l/s pr. km <sup>2</sup>
Otra	3750	0.6	10.4	180	39

Vassdraget er regulert, noe som vil ha stor innvirkning på flommer. Brepresenten i nedbørfeltet er tilnærmet lik null. Normalavløpet for vassdraget er beregnet ut fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE, 2002) og gir en midlere spesifikk årlig avrenning på 39 l/s pr. km<sup>2</sup>. Avrenningen varierer fra rundt 10-15 l/s pr. km<sup>2</sup> i de lavereliggende dalområdene rundt Byglandsfjorden – Bossvatn til omkring 100 l/s pr. km<sup>2</sup> i de høyereliggende nordvestlige områdene av vassdraget. Avrenningskartet har en usikkerhet på ± 20 % og øker i alminnelighet for små arealer. Estimater for midlere årlig avrenning i vassdraget er relativt bra, fordi kartet er basert på modellsimuleringer som er kalibrert og korrigert opp mot målinger i vassdraget. Sammenligning mellom avrenningskartet og observerte data (tilsig) for målestasjoner i vassdraget viser god overensstemmelse. F.eks. har målestasjon 21.24 Byglandsfjord ndf. observert årsmiddelavrenning for samme perioden på 39.8 l/s pr. km<sup>2</sup> (Astrup 2001), mens tilsvarende avrenning beregnet fra kartet er 40 l/s pr. km<sup>2</sup>. Tilsvarende viser andre målestasjoner god overensstemmelse. Dette viser at avrenningskartet stemmer bra overens med observasjoner i vassdraget, og det antas derfor at beregnet midlere årlig avrenning for hele Otras nedbørfelt også er et godt estimat.



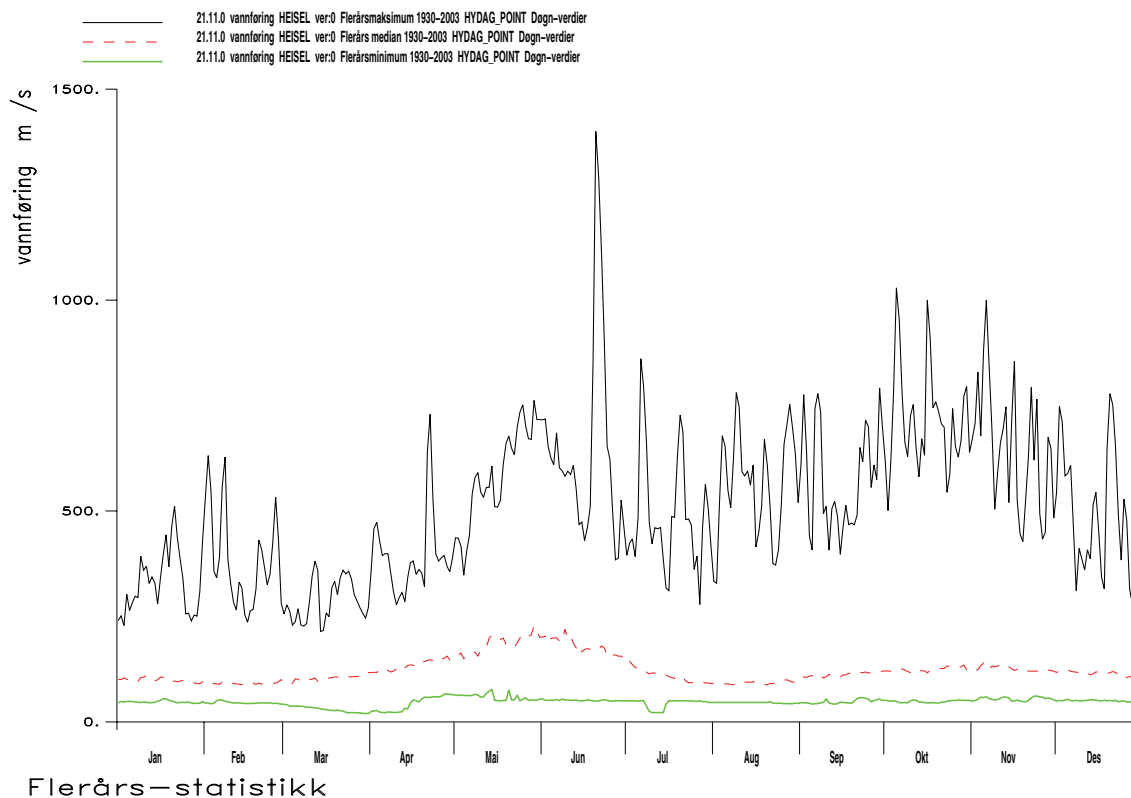
Figur 2. Hypsografisk kurve for Otras nedbørfelt. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som ligger over en gitt høyde.



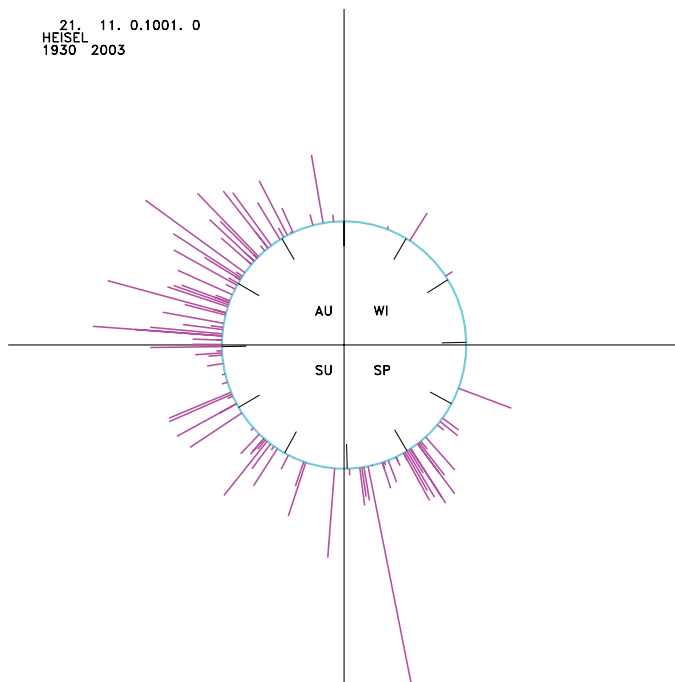


Figur 3. Arealfordeling for Otrane nedbørfelt.

Sesongvariasjonen i avrenningen for Otrane er vurdert ut fra målestasjonen 21.11 Heisel. Viktige parametere for sesongvariasjonene er klimatiske forhold og høydebeliggenhet. I regulerte vassdrag vil også magasineringen i større eller mindre grad bidra til å refordele avrenningen gjennom året, og for Otrane vil dette være en viktig faktor. Figur 4 viser karakteristiske vannføringsverdier for 21.11 Heisel som antas å beskrive avrenningsmønsteret i Otrane godt. Øverste kurve (max) i diagrammet viser største observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året. Nederste kurve (min) viser minste observerte vannføring i løpet av måleperioden og den midterste kurven (med) er mediankurven, dvs. at det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større eller mindre enn denne.



Figur 4. Karakteristiske vannføringer ved stasjon 21.11 Heisel. Figuren viser henholdsvis største, median og minste observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året for perioden 1930 – 2003.



**Figur 5. Flommer observert ved målestasjon 21.11 Heisel i perioden 1930 – 2003. Sirkelen representerer året med 1. januar rett opp. Flommene er markert med når på året de inntreffer og med relativ størrelse.**

Figur 5 viser relativ flomstørrelse og tidspunkt for flommer ved målestasjon 21.11 Heisel over en gitt terskelverdi, her på ca  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , noe som er rundt 80 % av middelflom ved vannmerket for perioden 1930 – 2003.

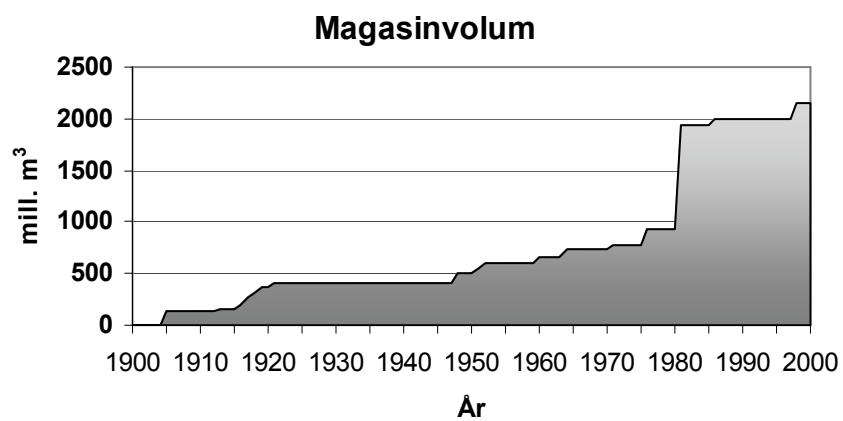
Ut fra figurene 4 og 5 kan en se at store flommer ved målestasjon 21.11 Heisel kan forekomme hele året, men med dominerende høstflommer og sekundære vårflokker. Siden over 98 % av Otras nedbørfelt er dekket av nedbørfeltet til vannmerke 21.11 Heisel, vil Otra ha tilnærmet samme fordeling av flommer. Den største observerte flommen er en vår-/sommerflom.

### Reguleringssystemet i Otra

Reguleringene i Otra er gradvis utbygget fra begynnelsen av 1900-tallet og frem til i dag og det er gitt en rekke konsesjoner i vassdraget. Dagens situasjon gir en reguleringsprosent for hele vassdraget på rundt 47 %. Dette innebærer at totalt 47 % av årstilsiget i et normalår kan magasineres til en hver tid (sett vekk fra evt. magasinrestriksjoner). Tabell 2 viser magasinene i vassdraget og når de ble satt i drift. Totalt magasinivolum og når de er satt i drift er illustrert i figur 6. Likeledes er det flere overføringer innad i vassdraget, samt at  $120 \text{ km}^2$  er overført ut til Blåsjø og Ulla-Førre verkene.

**Tabell 2. Magasiner i Otravassdraget og ulike utbyggingstrinn (eks. Blåsjø)**

Magasin	I drift	HRV moh.	LRV moh.	Mag. vol. mill. m <sup>3</sup>
Skyvatn	1960	1090	1078	50.8
Breivatn/Sesvatn	1919	896.5	894	16.6
Store Føresvatn	1918	843	836	20.6
Hartevatn	1915	758.9	757.3	10.6
Store Urevatn I	1952	1162	1151	65.4
Store Urevatn II	1986	1151	1141	38.6
Store Urevatn III	1998	1175	1162	141.1
Lisle Urevatn I	1951	1153.5	1148.5	2.1
Lisle Urevatn II	1998	1175	1153.5	9
Reinevatn I	1986	1171.5	1064	10
Reinevatn II	1998	1175	1171.5	8.8
Skarjesvatn	1986	1079	1075	1.6
Ormsavatn	1951	868	856.5	30.6
Vatnedalen I	1921	750	742.5	38.2
Vatnedalen II	1948	763.5	750	103.4
Vatnedalen III	1981	840	700	1008.4
Botsvatn I	1919	529	521	42.5
Botsvatn II	1964	521	502	87.5
Botsvatn III	1976	551	495.7	166
Hovatn I	1916	690.7	685.7	32.3
Hovatn II	1971	685.7	673.8	33.7
Langerak	1912	597.9	593.9	12.5
Byglandsfjord I	1905	202	198	127
Byglandsfjord II	1917	203	202	85.3
Gyvatn	1913	564.5	561.5	12.6



Figur 6. Utviklingen av totalt magasinvolum i Otrå med hensyn på når magasinene ble satt i drift (eks. Blåsjø).

### 3. Hydrometriske stasjoner

Det er og har vært flere målestasjoner for vannføring i Otra. Flomberegningen er derfor basert på observasjoner av vannføring fra målestasjoner i vassdraget og sammenlignet med regionale flomfrekvenskurver (Sælthun *et al.* 1997) og målestasjoner i nabovassdrag. Figur 7 viser beliggenheten til stasjonene og feltparameterne er oppsummert i tabell 2. Hypsografisk kurve for stasjonene er vist i figur 8. Feltparametrene er fastlagt ved en ny beregning av Seksjon for geoinformasjon ved Vannressursavdelingen i NVE, og kan avvike noe fra det som er oppgitt i NVEs hydrologiske database.

Det er i det følgende gjort en kort beskrivelse av aktuelle målestasjoner. I Drageset (2003) er det gjort en tilsvarende beskrivelse, og mye av informasjonen under er hentet derfra.

18.10 Gjerstad ligger i Gjerstadelv som drenerer grenseområdene mellom Aust-Agder og Telemark. Det er ingen reguleringer i feltet som er drøyt 200 km<sup>2</sup>. Det er utført vannføringsmålinger for vannføring opp til ca. 86 m<sup>3</sup>/s, mens midlere flom er 90 m<sup>3</sup>/s. Det er godt samsvar mellom vannføringsmålinger og vannføringskurven.

20.2 Austenå ligger i Tovdalselva ved Storebru rett nedstrøms stedet Austenå, på 225 moh. Her er det en lang observasjonsserie, med målinger siden 1924. Nedbørfeltets areal er 277 km<sup>2</sup>, og består for en stor del av fjellområder (55 % snaufjell). Feltets middelhøyde er på ca. 770 moh. Vannføringskurven for målestasjonen har tre kurveperioder (1924-28, 1928-82, 1983-dd.). For de to siste periodene er det utført vannføringsmålinger for vannføringer opp til henholdsvis 73 og 62 m<sup>3</sup>/s, som tilsvarer omtrent 97 % og 84 % av middelflom. I tillegg er øvre del av vannføringskurven ekstrapolert ved hjelp av hydrauliske beregninger (HEC-2). Datakvaliteten antas dermed å være god på store vannføringer. Vassdraget er uregulert. Dataserien er uten homogenitetsbrudd (Astrup, 2000).

20.3 Flaksvatn er lokalisert 19 moh. ved utløpet av Flaksvatnet. Målestasjonens nedbørfeltareal er 1777 km<sup>2</sup>, og gir således avrenningen fra 95 % av Tovdalselvas totale nedbørfelt. Feltegenskaper og høydeforhold i vassdraget er vist i tabell 2 og figur 8. Observasjoner er gjort siden 1899. Siden desember 1986 finnes data med fin tidsoppløsning for stasjonen. For tidligere år er vannføringen kun registrert én gang i døgnet. Vannføringskurven antas å være av god kvalitet. Vannføringskurven for målestasjonen har to kurveperioder (1899-1966 og 1966- dd.). For de to periodene er det utført vannføringsmålinger for vannføringer opp til henholdsvis 669 og 455 m<sup>3</sup>/s, som tilsvarer omtrent 160 % og 110 % av middelflom. Dataserien er ellers uten homogenitetsbrudd (Astrup, 2000). Vassdraget er noe regulert med en reguleringsprosent på 9 %, men det antas at reguleringene har mindre innvirkning på flomvannføringer ved Flaksvatn.

21.11 Heisel ligger rett ovenfor Mosby i Otravassdraget. Stasjonen ble opprettet i 1997, men vannføringsserien er koblet med stasjonene 21.38 Vigeland uv. kanal og 21.71 Vigeland, slik at den har observasjoner siden 1930. Nedbørfeltets areal er 3689 km<sup>2</sup> og midlere felthøyde er 784 moh. Den effektive sjøprosenten i feltet er på 0.6 %. Største målte vannføring som grunnlag for etablering av vannføringskurve er 524 m<sup>3</sup>/s, hvilket er rundt middelflom. En homogenitetstest på årsflommer for den koblede serien, viser en klar avtagende trend gjennom observasjonsperioden. En stadig økning i reguleringsgraden i vassdraget kan forklare dette.

22.4 Kjølamo ligger i nedre del av Mandalselva vest for Otra. Nedbørfeltet er 1757 km<sup>2</sup>. Stasjonen har vært i drift siden 1896, og har således en lang observasjonsserie. Vassdraget er regulert siden begynnelsen av 1930, med en reguleringsprosent som nå er på 16 %. Det er laget en tilsigsserie ved denne stasjonen som er korrigert for åtte magasiner i vassdraget. Denne serien er tatt med i analysegrunnlaget for en eventuell sammenligning med Otra. Nedbørfeltet til Kjølamo har tilsynelatende nokså like feltegenskaper som Heisel (se tabell 2), men ligger noe lavere. Feltet er noe mer eksponert for lavtrykksaktivitet fra vest, og har derfor noe større årsmiddelavrenning. Effektiv sjøprosent fra tabell 2 blir ikke representativ for tilsigsserien, for da fjernes til dels effekten av sjøer i vassdraget.

22.22 Søgne ligger i Søgneelva sørvest for Otravassdraget. Stasjonen ble opprettet i 1973. Vurderinger gjort i forbindelse med flomberegning for Søgneelva (Holmqvist, 2002) ligger til grunn for de frekvensfaktorer som i denne rapporten er presentert for Søgne. Det er utført vannføringsmålinger for vannføringer opp til 116 m<sup>3</sup>/s, eller drøyt 40 % over midlere flom. Det er godt samsvar mellom denne vannføringsmålingen og vannføringskurven (1 % avvik). På tross av en del manglende data, antas flomverdiene ved stasjonen å være pålitelige.

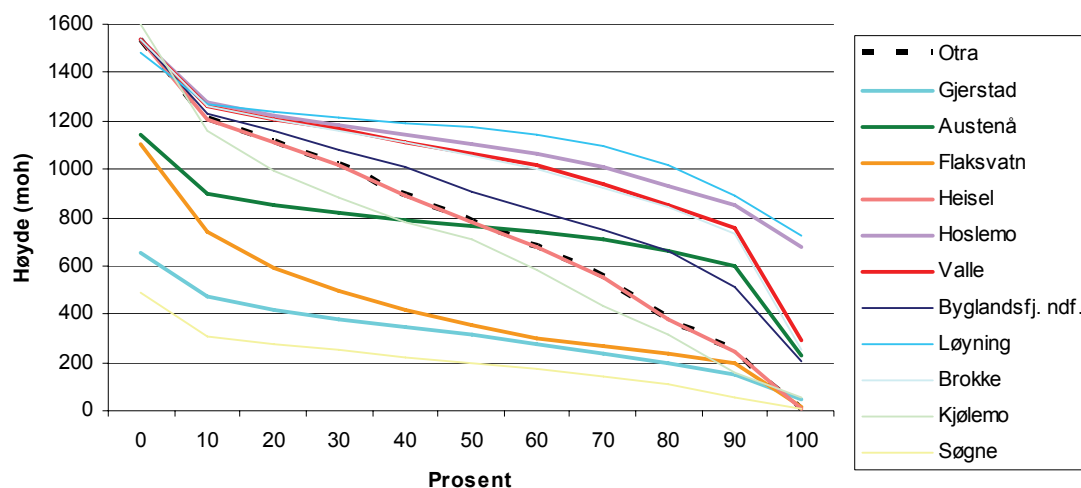


Figur 7. Oversikt over avløpsstasjoner benyttet i beregningene. Nedbørfeltet til hver enkelt stasjon er inntegnet med svart strek.

Tabell 2. Feltparametere for målestasjoner i Otrass omegn.

Stasjon	Feltareal km <sup>2</sup>	Eff. sjø %	Normalavløp, Q <sub>N</sub> l/s pr. km <sup>2</sup>	Høydeintervall moh.	Median høyde moh.
18.10 Gjerstad	237	0.1	25*	49-658	315
20.2 Austenå	277	1.6	37	228-1146	763
20.3 Flaksvatn	1777	0.5	33	19-1109	354
21.11 Heisel	3689	0.6	39.2	11-1537	784
21.21 Hoslemo	874	0.5	46	674-1537	1102
21.22 Valle	1707	0.4	47.3	290-1537	1065
21.24 Byglandsfj.	2805	-	39.8	201-1537	909
21.28 Løyning	242	2.0	58.1	729-1479	1175
21.43 Brokke	1801	0.5	47.2	252-1537	1058
22.4 Kjølamo	1757	0.6	46.8	20-1162	559
22.22 Søgne	210	0.1	30	10-464	182
Otra	3750	0.6	39	0-1537	750

\* Normalavløp funnet fra avrenningskartet for perioden 1961 – 1990.



Figur 8. Hypsografiske kurver for nedbørfeltene i Otrassvassdraget og utvalgte nabostasjoner. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som ligger over en gitt høyde.

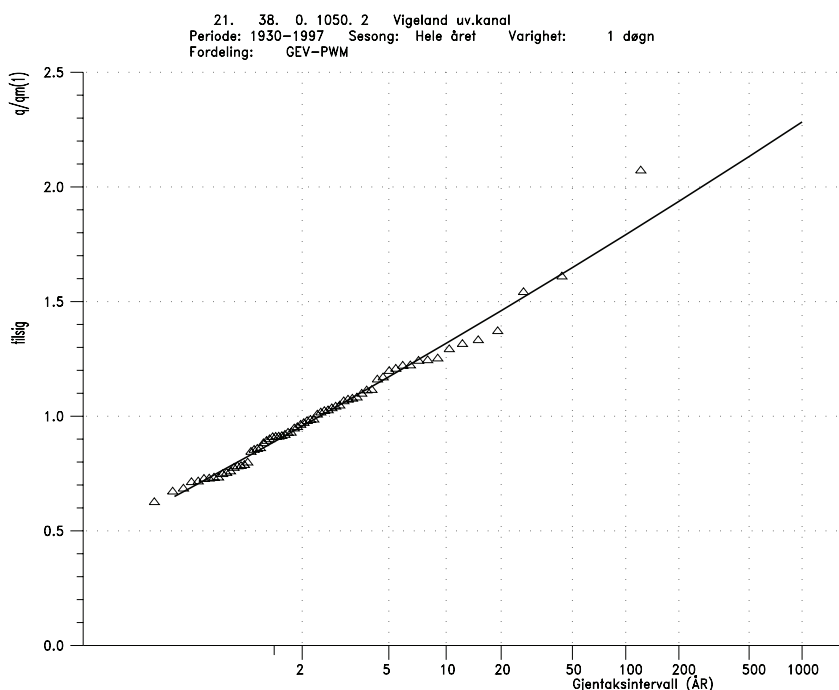
## 4. Beregning av flomverdier

Grunnlaget for flomsonekartleggingen er flomvannføringer for gitte gjentakintervall som beskrevet i kapittel 1.

Siden det finnes observasjoner av vannstand/vannføring i Otra er utgangspunktet for flomfrekvensanalysen observasjonsserier av vannføring i vassdraget og regionale flomfrekvensformler (Sælthun *et al.* 1997). Siden vannføringen er påvirket av regulering i hele observasjonsperioden, er det også sammenlignet med vannføringsserier i nabovassdrag.

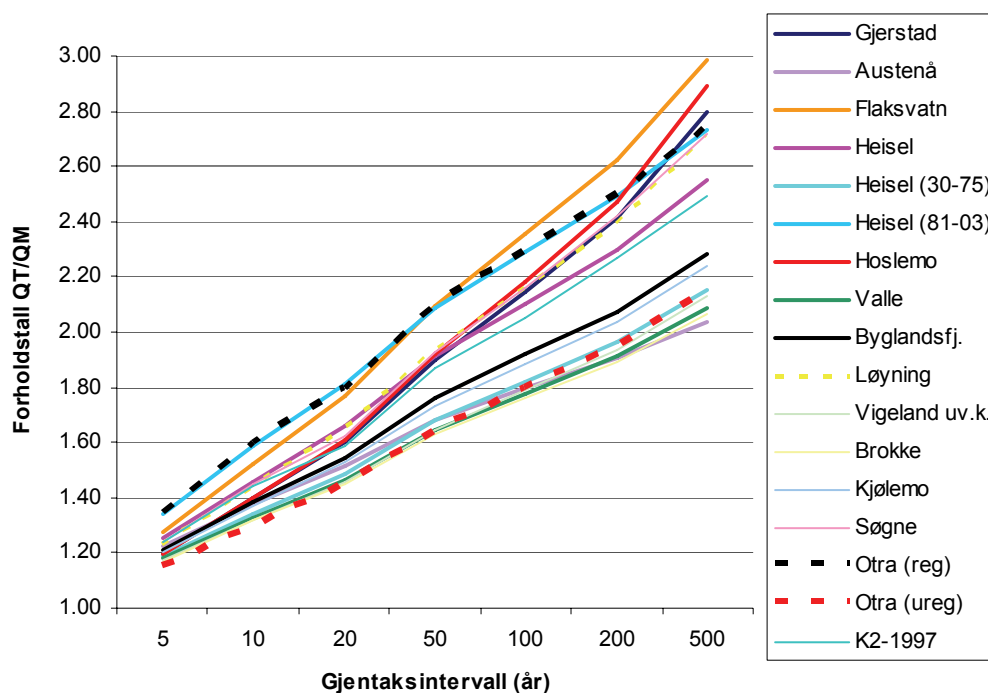
### 4.1. Flomfrekvensanalyser

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



Figur 9. Tilpasset fordelingsfunksjon til årsflokker (døgnmiddel) for tilsigsserie ved stasjon 21.38 Vigeland uv.k. Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet  $Q/Q_m$ .





Figur 10. Flomfrekvensfaktorer ( $Q_T/Q_M$ ) av årsflommer (døgnmiddel), for aktuelle målestasjoner, sammen med regional frekvenskurve for årsflommer (Sælthun *et al.* 1997).

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

Med bakgrunn i dette er det utført flomfrekvensanalyser av årsflommer ved målestasjonene beskrevet i kapittel 3. For hver stasjon tilpasses ulike fordelingsfunksjoner, og den frekvensfordelingen som vurderes best tilpasset de observerte årsflommene velges. For stasjoner som er sterkt påvirket av reguleringer benyttes tilsigsserier. Tilsigsseriene har en større grad av usikkerhet enn observert vannføring, da de er konstruerte serier og ikke direkte observasjoner. Figur 9 viser fordelingsfunksjonen som synes å være best tilpasset årsflommene til den konstruerte tilsigsserien ved Heisel (Vigeland uv.k.). Valgt frekvensfordeling for de forskjellige stasjonene er sammenfattet i tabell 3. Midlere flom ( $Q_M$ ) er oppgitt i absolutte og spesifikke verdier og flommer for ulike gjentakintervall ( $Q_T$ ) som forholdstallet (flomfrekvensfaktor) til midlere flom ( $Q_T/Q_M$ ). Flomfrekvensfaktorene er også illustrert i figur 10. Det er stor variasjon i frekvensfaktorene ved målestasjonene og for  $Q_{500}/Q_M$  ligger de eksempelvis fra 2.04 ved Austenå til 2.99 ved Flaksvatn.

Det er også foretatt en sammenligning med regionale flomfrekvenskurver (Sælthun *et al.* 1997). I kystregionene er disse basert på årsflommer, og i tabell 3 er flomfrekvensfaktorene for region K2 gitt. Region K2 dekker områdene innenfor den ytterste kyststripen og omfatter mange fjorder og kystnære strøk. Otravassdraget ligger stort sett utenfor K2-regionen, men frekvensfaktorene er allikevel tatt med for sammenligning. De regionale kurvene er basert på avløpsfelt i størrelsesorden fra 20 km<sup>2</sup> og oppover. Flomforholdene i et nedbørfelt påvirkes både av klimatiske og fysiografiske forhold. Ved valg av representativ frekvensfordeling for umålte felt, er det antatt at klimatiske forhold har størst betydning.

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

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km <sup>2</sup>	Q <sub>M</sub>		Q <sub>5</sub> / Q <sub>M</sub>	Q <sub>10</sub> / Q <sub>M</sub>	Q <sub>20</sub> / Q <sub>M</sub>	Q <sub>50</sub> / Q <sub>M</sub>	Q <sub>100</sub> / Q <sub>M</sub>	Q <sub>200</sub> / Q <sub>M</sub>	Q <sub>500</sub> / Q <sub>M</sub>
				l/s•km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s							
18.10 Gjerstad	1980-dd.	23	237	373	88.4	1.20	1.40	1.61	1.90	2.15	2.41	2.80
20.2 Austenå	1924-dd.	79	277	269	74.4	1.23	1.38	1.52	1.68	1.80	1.91	2.04
20.3 Flaksvatn	1899-02	104	1777	232	412.5	1.28	1.52	1.77	2.10	2.36	2.62	2.99
21.11 Heisel	1930-dd.	74	3689	165	609.0	1.25	1.46	1.66	1.91	2.11	2.30	2.55
21.11 Heisel	1930-75	46	3689	185	682.0	1.19	1.34	1.49	1.68	1.82	1.96	2.15
21.11 Heisel	1981-dd.	23	3689	137	505.0	1.34	1.59	1.81	2.09	2.29	2.49	2.73
21.21 Hoslemo*	1930-02	73	874	289	252.8	1.19	1.40	1.61	1.92	2.18	2.47	2.89
21.22 Valle*	1930-90	61	1707	293	500.3	1.18	1.32	1.46	1.64	1.78	1.91	2.09
21.24 Byglandsfj.*	1930-02	73	2805	232	652.0	1.21	1.38	1.55	1.76	1.92	2.08	2.29
21.28 Løyning*	1919-79	60	242	333	80.5	1.23	1.44	1.65	1.93	2.16	2.39	2.71
21.38 Vigeland*	1930-97	68	3681	219	805.0	1.17	1.32	1.46	1.65	1.79	1.94	2.13
21.43 Brokke*	1930-02	73	1801	291	524.1	1.17	1.32	1.45	1.63	1.76	1.89	2.07
22.4 Kjølemo*	1896-99	103	1757	287	504.0	1.20	1.37	1.53	1.73	1.89	2.04	2.24
22.22 Søgne	1973-dd.	26	210	380	79.70	1.22	1.40	1.57	1.79	1.96	2.12	2.34
Otra (uregulert)	-	-	3750	220	825	1.15	1.30	1.45	1.65	1.80	1.95	2.15
Otra (regulert)	-	-	3750	135	506	1.35	1.60	1.80	2.10	(2.30)	(2.50)	(2.75)
K2-1997		-				1.24	1.44	1.59	1.87	2.05	2.27	2.49

\* Flomfrekvesanalyse utført på tilsigsserie

Som representativ frekvensfordeling for Otra er det valgt å bruke to sett frekvensfaktorer og middelflommer. For flommer med gjentaksintervall opp til 50 år er frekvensanalysen basert på observerte flommer ved Heisel for perioden 1981-03. I denne perioden er reguleringsgraden relativt lik dagens situasjon og har forandret seg lite. Flommer med gjentaksintervaller større enn 50 år er antatt å nærme seg flommer slik vassdraget ville oppført seg i uregulert tilstand. Tilsigsserie for 21.38 Vigeland avrundet til nærmeste 0.05 pga usikkerheten i valg av kurve er derfor benyttet til å finne flomstørrelsene ved store gjentaksintervall. Det er gjort en gradvis overgang mellom resultatene fra de to ulike flomfrekvensanalysene for flommer med gjentaksintervall 100 og 200 år.

Den regulerte perioden er preget av lav middelflom, men med relativt bratt frekvenskurve (høye frekvensfaktorer). Beregninger basert på tilsigsserien har større middelflom og flatere frekvenskurve. Størrelsene på flommer med høye gjentaksintervaller (100 – 500 år) er ca. 25-30 % større ved uregulerte forhold (tilsigsserie) enn ved dagens reguleringsgrad. Den regionale frekvenskurven for K2-regionen gitt i Sælthun *et al.* (1997) ligger mellom frekvenskurvene funnet for Otra for henholdsvis regulerte og uregulerte forhold.

## 4.2. Beregning av middelflom og 5 – 500 års flom

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

Spesifikk middelflom varierer relativt mye for stasjonene i området (tabell 3) og ligger i størrelsesorden fra 137 l/s pr. km<sup>2</sup> til 380 l/s pr. km<sup>2</sup>. Tilsigsserier som korrigerer for volumendringer i magasinene fjerner noe av den naturlige flomdempningen til sjøer. Flommene i slike tilfeller vil ofte overestimeres. Byglandsfjorden vil ha stor betydning for størrelsen på flommer ved Mosby. Flommer med gjentakintervall 100, 200 og 500 år beregnet fra tilsigsserien til 21.24 Byglandsfjord ndf. er rutet gjennom magasinet for å finne flomdempningen. Magasinkurve og vannføringskurve gitt i rapporten Grøner (1998a) er benyttet. Tabell 4 viser tilløpsflom og avløpsflom for Byglandsfjord Forløpet til flommene er basert på skalerte findata (opløsning 1 time) av flommen 15.-18. oktober 1987 ved målestasjon 20.2 Austenå.

**Tabell 4. Flomverdier rutet gjennom Byglandsfjord, tidsopløsning 24 timer.**

Punkt i vassdraget	Areal km <sup>2</sup>	Q <sub>100</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>200</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>500</sub> m <sup>3</sup> /s
Byglandsfjord (tilløp)	2805	1250	1353	1489
Byglandsfjord (avløp)	2805	1083	1147	1233

Ut fra routing ser en at flomverdiene avtar en del avhengig av størrelsen på flommen. I tillegg forsinkes flomtoppen ca. 10-20 timer.

Estimerte flomverdier for Otra er funnet på følgende måte: For flommer med gjentakintervall opp til 50 år, er regulerte forhold slik de er pr. i dag lagt til grunn. Med bakgrunn i dette antas en spesifikk middelflom for Otra å ligge i størrelsesorden 135 l/s pr. km<sup>2</sup>. For flommer med høye gjentakintervall (>= 500 år) benyttes flomverdier funnet fra tilsigsserien ved Vigeland uv.k. redusert med tilsvarende absolutte verdier som i routing gjennom Byglandsfjord. For flommer med gjentakintervaller mellom 50 og 500 år, benyttes en gradvis overgang (vekting) mellom disse verdiene. Med valgt verdi for middelflom, og flomfrekvensfordelingene som antas representativ for Otra (tabell 3), blir de resulterende flomverdiene som vist i tabell 5.

Middelflommen i Otra er redusert med ca. 35-40 % fra uregulerte forhold (tilsigsserie) og frem til i dag. Reduksjonen er noe mindre hvis det antas at flommene i tilsigsserien er overestimerte.

**Tabell 5. Beregnet middelflom ( $Q_M$ ) og resulterende flomverdier ved ulike gjentakintervall i Otra, døgnmiddelvanntføringer.**

Punkt i vassdraget	Areal km <sup>2</sup>	$Q_M$		$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$	$Q_{200}$	$Q_{500}$
		l/s·km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
Otra ved utløp i sjøen	3750	135	506	683	810	911	1063	1215	1356	1518

### 4.3. Beregning av kulminasjonsvanntføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmiddelvanntføring. I større vassdrag vil kulminasjonsvanntføring og døgnmiddelvanntføringen være relativt like. Otra har et stort nedbørfelt og relativt lav effektiv sjøprosent. Med bakgrunn i størrelsen på nedbørfeltet og en del innsjøer i vassdraget, forventes det at forholdstallet mellom kulminasjonsvanntføringen (momentanvanntføring) og døgnmiddelvanntføringen ( $Q_{mom}/Q_{mid}$ ) er relativt lite.

Forholdet  $Q_{mom}/Q_{mid}$  anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget. For perioden 1982-83 frem til 1997 er det kun registrert døgnmiddelvanntføringer ved stasjonen i databasen. Etter 1997 er det registrert data med fin oppløsning. Det er derfor en begrenset periode med data som ligger til grunn for å bestemme forholdstallet mellom kulminasjons- og døgnmiddelvanntføringen.

**Tabell 6. Kulminasjons- og døgnmiddelvanntføringer ved Heisel.**

Dato	Kulminasjon m <sup>3</sup> /s	Døgnmiddel m <sup>3</sup> /s	$Q_{mom}/Q_{mid}$ m <sup>3</sup> /s
16.10.1987	1218	1000	1.22
01.11.2000	699	671	1.04
10.10.2001	644	622	1.04
29.06.1998	637	526	1.21
09.06.1999	536	413	1.30

For Heisel er fem flommer (døgnmiddel) sammenlignet med tilhørende kulminasjonsvanntføringer i perioden etter 1997, samt 1987 flommen. Tabell 6 viser kulminasjons-, døgnmiddelvanntføring og forholdstallet,  $Q_{mom}/Q_{mid}$ , mellom disse. Ved Heisel er kulminasjonsvanntføringen i gjennomsnitt ca 16 % større enn døgnmiddelvanntføringen for flommer som er undersøkt.

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

$$Q_{mom}/Q_{mid} = 1.72 - 0.17 \cdot \log A - 0.125 \cdot A_{SE}^{0.5},$$

mens formelen for høstflokker er:

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

hvor A er feltareal og  $A_{\text{SE}}$  er effektiv sjøprosent. For Otra benyttes formelen for høstflommer, da intensiv nedbør i form av regn er den dominerende årsaken til flommer. Formelen gav et forholdstall på 1.04. Sammenlignet med Heisel er dette betraktelig mindre enn det som er observert.

Det er usikkert hvilken betydning reguleringene i vassdraget har på forholdstallene, og det velges å legge mest vekt på forholdstallet for observerte flommer. Verdien 1.15 benyttes som forholdstall mellom  $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$  for Otra. Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentaksintervall i Otra er vist i tabell 7. Flomverdiene er på grunn av usikkerheter i analysene avrundet til nærmeste hele  $\text{m}^3/\text{s}$ .

**Tabell 7. Flomverdier i Otra ved utløpet i sjøen, kulminasjonsvannføringer.**

Punkt i vassdraget	Areal $\text{km}^2$	$Q_{\text{mom}}/$ $Q_{\text{mid}}$	$Q_M$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_5$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{10}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{20}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{50}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{100}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{200}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{500}$ $\text{m}^3/\text{s}$
Otra ved utløpet i sjøen	3750	1.15	580	790	930	1050	1220	1400	1560	1750

Resultatene viser at flomverdiene ligger under spesifikke verdier funnet ved Flaksvatn (Drageset, 2003), noe som virker rimelig. Sammenlignet med flomberegninger fra Mandalselva (Holmqvist, 2003) er estimatet for spesifikk middelflom i Otra en del mindre, mens for store flommer er verdiene litt mindre. I forbindelse med beregning av dimensjonerende flom ( $Q_{1000}$ ) og påregnelig maksimal flom for dammer i nedre del av Otra (Grøner, 1998), ble dimensjonerende flom for Vigeland funnet til å være ca  $420 \text{ l/s pr. km}^2$ . For denne flommen er dempningen i magasiner i vassdraget medberegnet, og dimensjonerende flom er rundt 10 % mindre enn  $Q_{500}$  beregnet her.

## 5. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i Otra kan karakteriseres som usikkert, fordi vassdraget har gjennomgått en stadig forandring i reguleringene. Utbyggingsgraden har økt gradvis gjennom hele perioden. Det er relativt store variasjoner i både spesifikk middelflom og frekvensfaktorer mellom målestasjonene som er benyttet i analysen. Det er også knyttet usikkerhet til bruk av konstruerte tilsigsserier i flomfrekvensanalysene.

Det er knyttet opp til  $\pm 20\%$  usikkerhet ved estimering av spesifikk avrenning fra avrenningskartet. Usikkerheten vil i alminnelighet øke for avtakende feltstørrelse (Beldring *et al.* 2002). En sammenligning med andre stasjoner i området viser en god overensstemmelse mellom observert avrenning og avrenningskartet. Usikkerheten i årlig middelaavrenning for Otra er derfor trolig lavere enn dette tallet.

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

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

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

I tillegg er dataene med fin tidsoppløsning ikke kontrollerte på samme måte som døgndataene og er ikke komplette i tilfelle observasjonsbrudd. Det foreligger heller ikke data med fin tidsoppløsning på databasen lenger enn cirka 6-7 år tilbake. Det er derfor ikke mulig å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

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

# Referanser

- Astrup, M. 2001: Avløpsnormaler. Normalperioden 1961-1990. NVE Rapport nr. 2 – 2001.
- Astrup, M. 2000: Homogenitetstest av hydrologiske data. NVE Rapport nr. 7 – 2000.
- Beldring, S., Roald, L. A. og Voksø, A. 2002: Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990. NVE Dokument nr. 2 – 2002.
- Drageset, T.A. 2003: Flomberegning for Flaksvatn i Tovdalselva (020.A8). NVE Dokument 14 – 2003. Flomsonekartprosjektet.
- Grøner 1998a: Otteraaens Brugseierforening. Dimensjonerende flom og påregnelig maksimal flom i øvre del av Otra. Supplerende beregninger og sammendrag. Grøner, 1998.
- Grøner 1998b: Otteraaens Brugseierforening. Dimensjonerende flom og påregnelig maksimal flom i nedre del av Otra. Grøner, 1998.
- Holmqvist, E. 2002: Flomberegning for Søgneelva. NVE Dokument 16 – 2002. Flomsonekartprosjektet.
- NVE 2002: Avrenningskart for Norge 1961 – 1990, 1:500 000. Hydrologisk avdeling.
- NVE 2000: Prosjekthåndbok - Flomsonekartprosjektet. 5.B: Retningslinjer for flomberegninger.
- Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og Roald, L. A. 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE Rapport nr. 14 – 1997.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

## Utgitt i Dokumentserien i 2005

- Nr. 1 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Eidfjordvassdraget. Flomsonekartprosjektet (20 s.)
- Nr. 2 Eirik Traae: Program for økt sikkerhet mot leirskred. Risiko for kvikkleireskred Bragernes, Drammen  
Forslag til tiltak (21 s.)
- Nr. 3 Inger Sætrang: Statistikk over tariffer i regional- og distribusjonsnettet 2005 (55 s.)
- Nr. 4 Turid-Anne Drageset, Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Fjellhammarelva/Sagelva.  
Flomsonekartprosjektet (26 s.)
- Nr. 5 Thomas Væringstad: Flomberegning for Valldøla. Flomsonekartprosjektet (19 s.)
- Nr. 6 Inger Sætrang: Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i  
2004 ( s.)
- Nr. 7 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Vikja og Hopra i Sogn og Fjordane.  
Flomsonekartprosjektet (16 s.)
- Nr. 8 Frode Trengereid (red.): Forslag til endring av forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet (33 s.)
- Nr. 9 Den økonomiske reguleringen av nettvirksomheten. Forslag til endring av forskrift om økonomisk  
og teknisk rapportering, m.v. Høringsdokument 1. juli 2005 (82 s.)
- Nr. 10 Den økonomiske reguleringen av nettvirksomheten. Høringsdokument 1. juli 2005 (45 s.)
- Nr. 11 Paul Martin Gystad (red.)Tariffer. Forslag til endring i forskrift av 11. mars 1999 nr 302 om  
økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer del V ( 35 s.)
- Nr. 12 Erik Holmqvist: Flomberegning for Oltedalselva. Flomsonekartprosjektet ( 19 s.)
- Nr. 13 Thomas Væringstad: Flomberegning for Mosby. Flomsonekartprosjektet (22 s.)