



# Retningslinjer for flomberegninger

04  
2011



R E T N I N G S L I N J E R



# **Retningslinjer for flomberegninger**

til § 5-7 i forskrift om sikkerhet ved  
vassdragsanlegg

# Retningslinjer nr. 4/2011

## Retningslinjer for flomberegninger

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktører:** Grethe Holm Midttømme, Lars Evan Pettersson

**Forfattere:** Grethe Holm Midttømme, Lars Evan Pettersson, Erik Holmqvist, Øystein Nøtsund, Hege Hisdal, Roar Sivertsgård

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** 100

**Forside:** Storvatnet, Mørre kraftverk, Sør-Trøndelag. Vinterflommen 2006.  
Foto: Grethe Holm Midttømme, NVE

**ISSN:** 1501-9810

**Sammendrag:** Retningslinjer for flomberegninger utdyper bestemmelser gitt i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften) § 5-7 og beskriver aktuelle forutsetninger og metoder for å gjennomføre flomberegninger for dammer i tråd med damsikkerhetsforskriftens krav. Disse retningslinjene erstatter retningslinjer for flomberegninger til § 4-5 i forskrift om sikkerhet og tilsyn ved vassdragsanlegg (utgave 1-2002).

Retningslinjene gjelder primært for alle dammer i konsekvensklasse 1 og høyere. Det er også gitt anbefalinger for valg av gjentakintervall for dammer i klasse 0.

**Emneord:** Retningslinjer, flomberegninger, dimensjonerende flom, påregnelig maksimal flom, dammer

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

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

Oktober 2011

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>6</b>
1.1 Definisjoner .....	7
<b>2 Generell arbeidsgang</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Beregningsforutsetninger</b> .....	<b>9</b>
3.1 Generelle forutsetninger .....	9
3.2 Forutsetninger vedrørende reguleringsystemet .....	10
<b>4 Datagrunnlag</b> .....	<b>11</b>
4.1 Tidsskritt og flomvarighet .....	11
4.2 Feltparametere .....	11
4.3 Hydrologiske data .....	12
4.3.1 Generelt .....	12
4.3.2 Kvalitetskontroll.....	13
4.3.3 Observerte data .....	13
4.4 Meteorologiske data.....	14
4.4.1 Data med fin tidsoppløsning .....	14
4.4.2 Døgnlige data.....	14
4.4.3 Ekstreme nedbørverdier .....	14
4.5 Data for reguleringsystemet .....	15
<b>5 Beregning av tilløpsflom</b> .....	<b>16</b>
5.1 Generell metodikk .....	17
5.2 Sesonginndeling .....	18
5.3 Flomvarighet .....	18
5.4 Beregning av tilløpsflommens størrelse og forløp.....	20
5.4.1 Flomfrekvensmetoden .....	20
5.4.1.1 Beregning av ett-døgnsflom .....	22
5.4.1.2 Beregning av kulminasjonsvannføring .....	25
5.4.1.3 Beregning av flomvolum og flomforløp.....	26
5.4.2 Nedbør-avløpsmetoden .....	27
5.4.2.1 Flommodellen.....	28
5.4.2.2 Beregning av ekstrem nedbør .....	29
5.4.2.3 Kombinasjon nedbør, snøsmelting og markvannsunderskudd .....	31
5.4.2.4 Beregning av snøsmelting.....	32
5.4.2.5 Nedbør-/snøsmelteforløp .....	33
5.4.2.6 Simulering av flomforløp.....	34
<b>6 Beregning av avløpsflom og flomvannstand</b> .....	<b>34</b>
6.1 Generelt .....	34
6.2 Ruting gjennom ett magasin .....	34
6.3 Ruting gjennom flere magasin .....	35
<b>7 Sammensatte felt</b> .....	<b>35</b>
7.1 Generelt .....	35

7.2	Store, sammensatte felt.....	37
<b>8</b>	<b>Evaluering av flomberegning.....</b>	<b>39</b>
8.1	Sammenlikning med andre beregninger og observasjoner .....	39
8.2	Klassifisering av usikkerhet.....	40
8.3	Følsomhetsanalyser.....	40
8.4	Klimaendringer.....	41
<b>9</b>	<b>Dokumentasjon og godkjenning av flomberegning.....</b>	<b>41</b>
	<b>Referanser .....</b>	<b>43</b>
	<b>Vedlegg 1 Aktuelle dataprogrammer ved Hydrologisk avdeling... 44</b>	
	<b>Vedlegg 2A Observerte forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom, vår og høst.....</b>	<b>45</b>
	<b>Vedlegg 2B Observerte forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom, årsflommer.....</b>	<b>48</b>
	<b>Vedlegg 3 Erfaringstall fra flomberegninger.....</b>	<b>55</b>
	<b>Vedlegg 4 Benyttede parametere .....</b>	<b>56</b>
	<b>Vedlegg 5 Oversikt over aktuelle internettadresser .....</b>	<b>58</b>
	<b>Vedlegg 6 Bruk av tilsigsdata .....</b>	<b>59</b>

# Forord

Da forskrift for dammer ble utgitt i 1981, inneholdt denne ”Regler og anbefalinger” for flere av kapitlene, deriblant kapittel 7 Beregning av flommer og flomvannstander. De første retningslinjene for flomberegninger ble utgitt av NVE i 1986; ”V-informasjon 1 – Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimal flom. Retningslinjer”. Redaktør for disse retningslinjene var Dan Lundquist.

Fagfeltet flomhydrologi har vært under kontinuerlig utvikling siden den gang, og da forskrift for dammer ble erstattet av ny forskrift i 2001, var det naturlig å gi ut reviderte retningslinjer for flomberegninger. Disse ble utgitt 01.01.2002 av NVE med Lars Evan Pettersson som redaktør og med bidrag fra bl.a. Glommens og Laagens Brukseierforening, EnFo (EnergiNorge) og NTNU. Innholdet i 2002-utgaven er i stor grad videreført, men noe nytt har også kommet til. Et utkast har vært ute på offentlig høring og relevante innspill fra høringen er også innarbeidet.

Et sentralt tema som har kommet i tillegg siden den forrige utgaven av disse retningslinjene, er nytt avsnitt om beregning av snøsmelting og et vedlegg med observerte forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflommer basert på analyser av årsflommer for en rekke målestasjoner. I tillegg har det kommet inn noen nye avsnitt om usikkerheter i flomberegninger og klimaendringer.

Retningslinjene gjelder for dammer i klasse 1 og høyere, men NVE anbefaler at flomberegninger for klasse 0-dammene også gjennomføres i tråd med innholdet i disse retningslinjene så langt det er relevant.

Oslo, oktober 2011



Rune Flatby  
avdelingsdirektør



Lars Grøttå  
seksjonssjef

# 1 Innledning

Disse retningslinjene utdyper bestemmelsene i § 5-7 i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften) [1] og gir en anbefaling om hvordan man kan oppfylle forskriftsbestemmelsene. Bestemmelsene i forskriften er bindende og eventuelle avvik fra forskriften tillates bare dersom NVE gir dispensasjon, jf. § 8-2 i damsikkerhetsforskriften.

I damsikkerhetsforskriften kapittel 4 stilles det krav om at alle vassdragsanlegg skal klassifiseres i fem klasser (0-4) avhengig av skadepotensial. Tabell 1.1 viser hvilke krav til flomberegninger som stilles til dammer i klasse 1-4. For noen dammer kan også andre flomrelaterte ulykkesituasjoner være aktuelle, jf. bl.a. damsikkerhetsforskriften § 5-3 c).

Tabell 1.1 Krav til flomberegninger

Klasse	Bruddgrensetilstand - flomstørrelser for dimensjonering av dam med flomløp (dimensjonerende flom, $Q_{dim}$ )	Ulykkesgrensetilstand – flomstørrelser for kontroll av dammens sikkerhet mot brudd (ulykkesflom)	
	Generelt krav (alle dammer) <sup>I</sup>	Generelt krav (alle dammer)	Tilleggskrav for anlegg med manøvrerbare flomløp
4 og 3	$Q_{1000}$	$Q_{PMF}$	$Q_{1000}$ med lukesvikt
2	$Q_{1000}$	$1,5 \cdot Q_{1000} / Q_{PMF}$ <sup>II</sup>	$Q_{1000}$ med lukesvikt
1	$Q_{500}$	$1,5 \cdot Q_{500} / Q_{PMF}$ <sup>II</sup>	$Q_{500}$ med lukesvikt

<sup>I</sup> Der det er fare for redusert flomavledningskapasitet som følge av tilstopping av overløp, og det ikke er mulig å gjøre avbøtende tiltak, skal dam og flomløp dimensjoneres for den avløpsflom og flomvannstand som følger av kombinasjonen dimensjonerende tilløpsflom og tilstopping av overløpet. Krav om å vurdere tilstopping gjelder bare i bruddgrensetilstand.

<sup>II</sup> For dammer i klasse 1 og 2 gir forskriftene adgang til å benytte en annen flom enn  $Q_{PMF}$ , dvs.  $1,5 \cdot Q_{dim}$ , til kontroll av dammens sikkerhet mot brudd. I slike tilfeller er det tilløpsflommen som skal ganges med 1,5.

Forutsetninger vedrørende grad av tilstopping og lukesvikt er angitt i damsikkerhetsforskriften og utdypet i retningslinjer for flomløp[14]. For anlegg med manøvrerbare flomløp må det gjøres beregninger av to forskjellige ulykkesflommer;  $Q_{PMF}$  (eller  $1,5 \cdot Q_{dim}$ ) med alle luker i drift, og  $Q_{dim}$  i kombinasjon med lukesvikt. Den beregningen som gir høyest flomvannstand og avløpsflom skal legges til grunn for kontroll av dammens sikkerhet mot brudd i ulykkesgrensetilstand. Dersom det er tvil om valg av forutsetninger knyttet til flomløp, overføringer mv bør dette avklares med NVE før de hydrologiske beregningene gjennomføres.

For klasse 0 er det ikke stilt krav til spesielt gjentaksintervall for dimensjonerende flom, men NVE anbefaler at flom med gjentaksintervall på 200 år, eller mer, benyttes for dimensjonering av dam og flomløp, jf. [2]. For anlegg i klasse 0 med konsesjon etter vannressursloven kan NVE stille krav om gjentaksintervall. Dette fremkommer som regel i brev med vedtak om konsekvensklasse.



Generelt vil valget av dimensjonerende tilløpsflom være bestemt av den risiko for overskridelse som det er tillatt å ta i det enkelte tilfelle, samt det tidsrommet man betrakter. Dimensjonerende tilløpsflom er derfor karakterisert ved et gitt gjentaksintervall. Tabell 1.2 viser sammenhengen mellom gjentaksintervall, periodelengde og sannsynlighet for overskridelse i perioden. Det fremgår for eksempel at en flom med et gjentaksintervall på 1000 år har en sannsynlighet på 18 % for å bli overskredet i løpet av en periode på 200 år.

Tabell 1.2 Sannsynlighet i prosent for overskridelse av T-årsflom i en periode på L år.

Gjentaksintervall i år (T)	Periodelengde i år (L)					
	10	50	100	200	500	1000
10	65	99	100	100	100	100
50	18	64	87	98	100	100
100	10	40	63	87	99	100
200	5	22	39	63	92	99
500	2	10	18	33	63	86
1000	1	5	10	18	39	63

Flomberegningene skal godkjennes av NVE. Godkjente flomberegninger skal legges til grunn ved nybygging og ombygging (fornyelse) av dam og flomløp, og ved revurdering av dam og flomløp. NVE kontrollerer at flomberegningene er utført i samsvar med disse retningslinjene og at det er benyttet godkjent fagansvarlig i aktuelle fagområder.

Det skal alltid benyttes godkjent fagansvarlig i fagområde IV (hydrologi) for dammer i klasse 1, 2, 3 og 4. Der de hydrauliske forhold ved flomløp og eventuelle overføringer er enkle og oversiktlige kan godkjent fagansvarlig i fagområde IV stå som ansvarlig for hele flomberegningen, forutsatt at vedkommende har tilegnet seg grunnleggende kunnskaper i hydraulikk. Der de hydrauliske forhold er uoversiktlige eller kompliserte, for eksempel i tilknytning til lukket flomløp, eller overføringstunneler med flere inntak, stilles det også krav om at det benyttes godkjent fagansvarlig i fagområde V (hydraulikk), jf. damsikkerhetsforskriften § 5-8. For dammer i klasse 0 anbefaler NVE at det brukes kvalifiserte rådgivere, gjerne med godkjenning i fagområde IV.

## 1.1 Definisjoner

**Dimensjonerende avløpsflom** er den vannføring som avledes ved dimensjonerende flomvannstand.

**Dimensjonerende flomvannstand (DFV)** er den høyeste vannstand som opptrer i magasinet ved dimensjonerende tilløpsflom.

**Dimensjonerende tilløpsflom** er den tilløpsflom, med gjentaksintervall som er spesifisert for dammens konsekvensklasse, som fører til høyest vannstand i magasinet ved gitte forutsetninger om reguleringssystemet, som for eksempel flomløpenes manøvrering, overføringer, tapping og magasinet initialtilstand.

**Hypsografisk kurve** er den kurve som viser hvor stor prosentandel av hele feltets areal som ligger over et visst nivå.

**Maksimal flomvannstand (MFV)** er den høyeste vannstand som opptrer i magasinet ved påregnelig maksimal tilløpsflom.

**Middelflom,  $Q_M$** , er gjennomsnittet av den største vannføringen hvert år eller hver sesong.

**PMP** er påregnelig maksimal nedbør, som er den teoretisk største nedbørmengden som for en gitt varighet er fysisk mulig over et gitt nedbørfelt til en gitt tid på året.

**P<sub>T</sub>** er nedbør med gjentaksintervall T år (i rapporter fra Meteorologisk institutt er også  $M_T$  brukt).

**Påregnelig maksimal avløpsflom** er den vannføring som avledes ved maksimal flomvannstand.

**Påregnelig maksimal tilløpsflom** er den største tilløpsflom som beregnes å kunne opptre, og som fører til høyest vannstand i magasinet ved gitte forutsetninger om flomløpenes manøvrering og magasinets initialtilstand.

**q** er spesifikk vannføring uttrykt i l/s pr. km<sup>2</sup>.

**Q** er absolutt vannføring uttrykt i m<sup>3</sup>/s. I disse retningslinjene brukes forkortelsen Q også der det er likegyldig om man bruker absolutte verdier [m<sup>3</sup>/s] eller spesifikke verdier [l/s pr. km<sup>2</sup>].

**Q<sub>dim</sub>** er dimensjonerende flom.

**Q<sub>PMF</sub>** er påregnelig maksimal flom.

**Q<sub>T</sub>** er flom med gjentaksintervall T år. Det betyr at det er sannsynlighet på 1/T for at flommen skal finne sted et hvilket som helst år.

**Tilløpsflom** er flom til magasinet fra uregulert felt, tillagt avløpsflom fra eventuelle oppstrøms magasin og overføringer. Tilløpsflom er dermed flom til magasin, innsjø eller sted i vassdraget hvor selvreguleringen i alle oppstrøms magasin/innsjøer og nedbør på magasin/innsjø er medregnet.

**Tilsigsflom** er en teoretisk flom til et magasin som er beregnet ved at det er korrigert for alle magasinendringer i feltet og overføringer til/fra feltet, jf. vedlegg 6.

## 2 Generell arbeidsgang

Vanlige brukte metoder for flomberegninger er:

- Frekvensanalyser av vannføringsdata fra representative målestasjoner (alle feltstørrelser)
- Regional flomfrekvensanalyse (for felt > ca. 20 km<sup>2</sup>)
- Nedbør-avløpsmodell (flommodell)
- Den rasjonale formel (for små felt < ca. 0,5 km<sup>2</sup>)

Der det er mulig bør man bruke flere metoder, men valg av metoder må også sees i sammenheng med tilgang på data og feltstørrelser. Bruk av den rasjonale formel basert på avrenningskoeffisienter og regnintensitet brukes primært for dimensjonering av avløpsledninger i urbane strøk, men kan også være et alternativ for enkelte dammer. Beskrivelse og videre henvisning til aktuell litteratur om bruk av den rasjonale formel er gitt i Vassdragshåndboka [20].

Ved flomberegninger må man vanligvis gjennom følgende trinn:

- Fremskaffe nødvendig grunnlagsmateriale for å definere oppgaven, dvs. topografiske kart, oversikt over reguleringsystemet (kraftverk, magasin og overføringer), manøvreringsreglementer og annet relevant materiale.
- Dele reguleringsområdet i eventuelle delfelt og trekke feltgrenser.

- Definere oppgaven, dvs. avklare hvilke steder det skal utføres beregninger for, og hvilke mellomberegninger som er nødvendige. I sammensatte vassdrag, særlig med mange magasin, kan det vurderes om det går an å gjøre forenklinger.
- Avklare beregningsforutsetninger for reguleringsystemet i samsvar med damsikkerhetsforskriften, manøvreringsreglement og retningslinjer, dvs. hvilke stenge-/tappeorganer og vannveier som skal medregnes i forskjellige situasjoner og om det skal regnes med tilstopping av flomløp eller funksjonssvikt av flomluker. Magasinvolumer og kapasiteter til overføringer, kraftverk og flomløp (avløpskurver) må kontrolleres eller beregnes, og om nødvendig skal dette gjøres av godkjent fagansvarlig i fagområde V (hydraulikk). Bestemme startvannstander i magasin ved flom.
- Bestemme feltparametere og velge ut aktuelle målestasjoner og dataserier. Datakvaliteten bør kontrolleres. Gjennomføre flomfrekvensanalyser. Bestemme flommodellparametere.
- Beregne tilløpsflommers størrelse og forløp. Bestemme hvilket tidsskritt og hvilken flomvarighet som skal legges til grunn. Bruk flomdata fra det aktuelle vassdraget, og/eller fra nærliggende vassdrag. Bør også bruke regionale flomformler og flomfrekvenskurver i de fleste tilfeller. Skaffe til veie ekstrem nedbør og eventuelt grunnlag for beregning av snøsmelting. Simulere flomforløp med hjelp av flommodell (enkel flommodell, HBV-modell eller annen nedbør-avløpsmodell). Vurdere beregnede flomstørrelser kritisk mot hverandre.
- Beregne avløpsflommer og flomvannstander, dvs. rute tilløpsflommer gjennom magasin. Der det er aktuelt skal flomberegninger også omfatte beregninger av flomvannstander og avløpsflommer som følge av tilstopping av flomløp og manøvreringssvikt av luker.
- Kontrollere om de beregnede flomstørrelsene er rimelige. Sammenlikne med observerte flommer/flomvannstander og resultater fra andre aktuelle beregninger i samme vassdrag, for eksempel flomberegninger for flomsonekartlegging.
- Kommentere usikkerheten ved flomberegningen og klassifisere flomberegningen i samsvar med kapittel 8.
- Utføre en følsomhetsanalyse ved behov, for eksempel for dammer som er sårbare for overtopping eller andre dammer der endringer i beregnede flomvannstander får stor betydning for damsikkerheten.
- Vurdere og kommentere effekten av klimaendringer på dimensjonerende flom med støtte i regionale klimascenarier.
- Dokumentere flomberegningen i en rapport med nødvendige opplysninger for NVEs kontroll og godkjenning.

## 3 Beregningsforutsetninger

Normalt bestiller den ansvarlige for vassdragsanlegget en flomberegning som skal benyttes som grunnlag for revurdering av en eksisterende dam eller dimensjonering av et nytt anlegg. Det bør fremgå i bestillingen hvilke steder i vassdraget det skal beregnes flom for, hvilke flomstørrelser som skal beregnes samt hvilke klasser de respektive dammene har. Hvis dette ikke er tilfelle, må det avklares med den ansvarlige for vassdragsanlegget og/eller NVE.

### 3.1 Generelle forutsetninger

Det skal i første omgang beregnes tilløpsflom fra uregulert felt. Dette er en hydrologisk oppgave. Målet med en flomberegning i forbindelse med dammer er imidlertid å beregne avløpsflommens maksimale vannføring og vannstand i et magasin. Dette er en hydraulisk oppgave når tilløpsflommen er bestemt.

Avløpsflommen vil være bestemt av tilløpsflommens forløp, volum og maksimale vannføring, vannstanden i magasinet ved flommens begynnelse, magasinets areal og avløpsorganenes karakteristikk og manøvrering. I de fleste tilfeller vil tilløpsflommen dempes gjennom vannstandsstigning i magasinet. Det vil derfor ikke være noen entydig sammenheng mellom tilløpsflommens og avløpsflommens maksimale vannføring. Flere tilløpsflommer med samme maksimale vannføring, men med forskjellige forløp, vil kunne gi forskjellige maksimalverdier for avløpsflommen. Hvis magasinets flomdempende virkning er liten, blir avløpsflommen tilnærmet lik tilløpsflommen. Hvis magasinets flomdempende virkning er stor, kan det være tilløpsflommens forløp og volum over flere døgn som er viktig, mens tilløpsflommens maksimale vannføring er av mindre betydning.

## 3.2 Forutsetninger vedrørende reguleringsystemet

Generelle beregningsforutsetninger for overføringer, kraftverksdrift, manøvrerbare tappeorganer, initialtilstander i magasin osv. er gitt i damssikkerhetsforskriften §§ 5-7 og 5-8. Der det er spesielle forhold, eller ønsker om å avvike fra retningslinjene, bør godkjent fagansvarlig i fagområde V konsulteres og avklare valg av forutsetninger med NVE.

Ved bestemmelse av tilløpsflom skal det som regel forutsettes at eventuelle manøvrerbare konstruksjoner i overføringssystemet kan være ute av funksjon eller ikke manøvreres som forutsatt. Det skal således i beregningene tas hensyn til at eventuelle overføringer til feltet ikke kan stenges og at overføringer fra feltet kan være blokkert. Dette gjelder ved fastsettelse av både dimensjonerende tilløpsflom og påregnelig maksimal tilløpsflom.

Vannstanden ved flommens begynnelse skal være høyeste regulerte vannstand, HRV, eller normalvannstand i magasin dersom HRV ikke er definert. I vassdrag med flere magasin skal det normalt forutsettes at initialvannstanden er HRV i alle magasin. For vårfloomsituasjoner kan det tillates å regne med lavere startvannstand enn HRV dersom det er stort magasin og samtidig stor snøbeholdning i feltet. I slike tilfeller kan det være urealistisk å regne med oppfylt magasin ved flommens begynnelse. Krav til oppfylt magasin kan også fravikes hvis bestemmelser i manøvreringsreglementet tilsier dette. Det samme gjelder ved beregning for store felt, hvor det kanskje ikke er realistisk å forutsette at vannstanden i alle oppstrøms magasin skal være HRV ved flommens begynnelse. I slike tilfeller må initialvannstanden i magasinet avklares med NVE.

Det tillates ikke å regne med flomavledning gjennom nåleløp, bjelkeløp, tappeløp, omløp og kraftstasjoner. Dersom det er ønskelig å fravike fra denne generelle bestemmelsen, må det søkes om dispensasjon jf. damssikkerhetsforskriften § 8-2. Ved manøvrerbare flomløp forutsettes det at disse manøvreres slik at vannstanden ikke underskriver HRV i flommens startfase.

I mange vassdrag vil det være fare for drivgods under en floomsituasjon, for eksempel i områder med mye løsmasser og skog langs elvebredder og magasin, ved mye is/snø i vassdraget, eller der lavereliggende/erosjonsutsatte områder brukes som lagringsplass for tømmer, høyballer og annet som kan bli revet med av flomvannet. I alle tilfeller skal faren for tilførsel av drivgods og resulterende tilstopping av flomløp vurderes med hensyn til flomløpets utforming. Der det er fare for tilstopping på grunn av drivgods skal det gjøres en tilleggsberegning av dimensjonerende flomvannstand og avløpsflom basert på minimum 25 % tilstopping for det aktuelle magasinet, jf. damssikkerhetsforskriften §§ 5-3 b) og 5-7, fjerde og åttende ledd. Det er ikke krav om å kombinere tilstopping med ulykkeslaster, dvs. krav om vurdering av tilstopping gjelder bare for bruddgrensetilstand. I vassdrag med flere magasin er det verdt å merke seg at tilløpsflommen til det magasinet som betraktes, alltid skal beregnes uten tilstopping av oppstrøms flomløp (dvs. oppstrøms flomløp skal regnes som åpne). Dimensjonerende avløpsflom uten tilstopping av overløpet legges også til grunn for kontroll av sjakt/tunnel (lukket flomløp) og andre avløpskonstruksjoner i flomløpet. I

tilfeller der det er vanskelig å vurdere tilstopningsfare og/eller tilstopningsgrad, bør det avklares med NVE hvilke forutsetninger som skal legges til grunn ved beregning av avløpsflom og flomvannstand.

For dammer med manøvrerbare flomluker skal det regnes med manøvreringssvikt i tråd med damsikkerhetsforskriften § 5-7, tabell 5-7.1.

## 4 Datagrunnlag

### 4.1 Tidsskritt og flomvarighet

Passelig tidsskritt og varighet for å beskrive flomforløpet må velges. Dette har også betydning for hvilke hydrologiske og meteorologiske analyser som skal utføres som grunnlag for flomberegningen.

Normalt vil flommer om våren i forbindelse med snøsmelting ha en lengre varighet og et mindre raskt forløp enn flommer i forbindelse med regn. Tidsskrittet kan av den grunn være større og varigheten bør være lengre for vårflokker enn for regnflokker på andre årstider.

De viktigste kriteriene for valg av tidsskritt og varighet er feltstørrelsen og magasin størrelsen. I små nedbørfelt, hvor flomutviklingen går raskt, må tidsskrittet være lite, og varigheten kan være kort. I store felt, hvor flomutviklingen går over lengre tid, kan tidsskrittet være større og varigheten må være lengre. I magasin hvor flomdempingen er liten, er det viktig å ha liten tidsoppløsning på flomforløpet. I magasin hvor flomdempingen er stor, er det viktig at varigheten på flomforløpet blir tilstrekkelig lang. Se kapittel 5.3.

Vanligvis vil det være tilstrekkelig med tidsskritt på 4-6 timer for felt større enn 100 km<sup>2</sup> og 2-3 timer for felt mindre enn 100 km<sup>2</sup>. For små felt kan det være nødvendig å velge tidsskritt på 1 time.

### 4.2 Feltparametere

Nedbørfeltets areal vil alltid være nødvendig å kjenne. Ved bruk av regionale flomformler og beregning av modellparametere i flommodellen, kreves at visse feltparametere bestemmes ut fra et godt kartgrunnlag. Alternativt kan feltparametere hentes/beregnes på NVEs karttjeneste på [www.nve.no](http://www.nve.no) eller bestilles fra en kartkonsulent. Spørsmål vedrørende NVEs karttjeneste kan rettes til NVEs seksjon for geoinformasjon. Aktuelle feltparametere er:

A:	nedbørfeltets areal	[km <sup>2</sup> ]
q <sub>N</sub> :	midlere spesifikt årsavløp	[l/s pr. km <sup>2</sup> ]
P <sub>N</sub> :	midlere årsnedbør	[mm]
A <sub>SE</sub> :	effektiv sjøprosent	[%]
A <sub>SF</sub> :	snaufjellprosent	[%]
L <sub>F</sub> :	feltaksens lengde	[km]
S <sub>T</sub> :	hovedelvas gradient	[m/km]
H <sub>L</sub> :	relieff-forhold	[m/km]

Feltareal (A) er nedbørfeltets areal i km<sup>2</sup>. Arealet må alltid kontrolleres, også om det oppgis av den ansvarlige for vassdragsanlegget. Arealet måles på kart i målestokk 1:50 000, eventuelt på økonomisk kart ved små felt, eller med GIS med tilsvarende kartgrunnlag. Vanlige problemer som oppstår ved fastleggelse av vannskillet, er myrer og tjern som dreneres til to vassdrag, eller når et elveløp deler seg i to. Det kan også være vanskelig å fastslå korrekt vannskille i felt med større breer eller i områder med karst (underjordiske kalkgrotter), her vil ikke alltid dreneringsgrensene følge overflatetopografien. I visse tilfeller kan det være feilavtegning på kartet, det kan kontrolleres ved

feltbefaring. I særlig flatt terreng kan det også by på problemer å fastlegge vannskillet bare fra kart (eller flyfoto).

Midlere spesifikt årsavløp, eller normalavløp, ( $q_N$ ) i l/s pr. km<sup>2</sup>, er definert som middelvannføringen i en 30 år lang referanseperiode dividert på feltarealet. Normalavløpet bestemmes ut fra observasjoner i feltet eller ut fra et avrenningskart for perioden 1961-90 [3]. Dette avrenningskartet finnes også i digital form på NVEs karttjeneste på [www.nve.no](http://www.nve.no). Eventuelt kan lengste tilgjengelige dataserie benyttes.

Midlere årsnedbør, eller normal årsnedbør, ( $P_N$ ) i millimeter, er definert som gjennomsnittlig årsnedbør i normalperioden 1961-90, og bestemmes ut fra observasjoner i feltet eller ut fra et kart over normal årsnedbør [9].

Effektiv sjøprosent ( $A_{SE}$ ) defineres som  $100 \cdot \sum (A_i \cdot a_i) / A^2$ , der  $a_i$  er innsjø i's overflateareal i km<sup>2</sup>, og  $A_i$  er det totale feltarealet til samme innsjø i km<sup>2</sup>. Denne parameteren er utviklet for å ta bedre vare på effekten av innsjøenes beliggenhet i feltet. I  $A_{SE}$  tillegges hver innsjø vekt ikke bare etter overflateareal, men også etter feltareal, noe som er mer rimelig i forbindelse med flomberegninger fordi innsjøer langt nede i feltet har større effekt på flomdempning enn innsjøer nær vannskillet. Ved beregning av innsjøenes areal må det legges større vekt på å oppnå korrekt areal på de store innsjøene og innsjøene langt nede i vassdraget, fordi de vil telle mye mer i  $A_{SE}$ -verdien enn små sjøer og sjøer langt oppe i feltet. Flomdempningen i en stor uregulert innsjø like oppstrøms det magasinet eller det stedet i vassdraget som det skal beregnes tilløpsflom for, vil ikke alltid bli ivaretatt av parameteren for effektiv sjøprosent. I slike tilfeller må tilløpsflommen til innsjøen rutes gjennom denne innsjøen før tilløpsflommen til magasinet eller beregningsstedet lenger nedstrøms bestemmes. Samme regel gjelder for sammensatte felt. Flommen må rutes gjennom innsjøer/ magasin i hovedelven, og sjøarealene til disse skal dermed ikke inngå i beregnet effektiv sjøprosent.

Snaufjellprosent ( $A_{SF}$ ) er areal av snaufjell i % av feltarealet. Det bestemmes fra kart i målestokk 1:50 000, eller med GIS med tilsvarende kartgrunnlag, og omfatter arealer over skoggrensa som på kartet ikke er definert som innsjøer, myrer, breer, skog, jordbruks- eller tettstedsområder.

Feltaksens lengde ( $L_F$ ) i km, defineres som en rett linje lagt fra hovedelvas innløp til magasinet til det mest fjerne punktet på vannskillet. Den måles på samme kartgrunnlag som feltarealet.

Hovedelvas gradient ( $S_T$ ) i m/km, defineres som  $\Delta h' / L_e$ , der  $L_e$  er hovedelvas lengde i km regnet fra innløpet til magasinet og forlengt til vannskillet, og  $\Delta h'$  er total høydeforskjell langs  $L_e$ . Hovedelva ved et samløp er definert som den av elvene som har størst feltareal. Måten som hovedelvas lengde forlenges til vannskillet på kan ha stor betydning for verdien av  $S_T$  og bør derfor vurderes nøye.

Relieff-forhold ( $H_L$ ) i m/km, defineres som  $H_{50} / L_F$ , der  $H_{50}$  er høydeforskjell i meter mellom 25- og 75- % passasjen på feltets hypsografiske kurve og  $L_F$  er feltaksens lengde i km. Den hypsografiske kurven viser hvor stor del av feltet som ligger mellom det aktuelle nivået og laveste punkt i feltet.

## 4.3 Hydrologiske data

### 4.3.1 Generelt

Det hydrologiske stasjonsnett i Norge og innholdet i NVEs hydrologiske database er beskrevet i [4], [5], [6], [7] og [8]. Programbeskrivelser for aktuelle dataprogrammer kan fås fra Hydrologisk avdeling, NVE. De mest aktuelle dataprogrammene er nevnt i vedlegg 1.

Ved flomberegninger skal data fra arkivet for kontrollerte og korrigerede data, HYDAG, fortrinnsvis brukes. HYDAG inneholder døgndata, parameter 1001 for vannføring, men i enkelte tilfeller kan det være ønskelig å benytte data med finere tidsoppløsning. Slike data er tilgjengelige på databasen

HYKVAL, men de er ikke kontrollerte og korrigerende i like høy grad som data på HYDAG. Data fra HYKVAL kan blant annet være påvirket av isoppstuvning. De er heller ikke kompletterte i tilfelle observasjonsbrudd, og bør derfor brukes med varsomhet. Videre må data fra stasjoner i uregulerte felt eller med uregulerte perioder fortrinnsvis benyttes.

I regulerte felt kan tilsig beregnes ved å korrigere avløpet fra feltet for magasinering og eventuelle overføringer. Til dette kreves vannstandsdata fra magasinene, magasintabeller og opplysninger om overføringer inn i og ut av feltet. Tilsigsberegninger må alltid utføres slik at flomforløpene ikke dempes, dvs. de må utføres med usentrerte differanser (endringer over ett tidsskritt) av magasin vannstandene. Tilsigsflommen må rutes gjennom alle oppstrøms magasin for å finne tilløpsflommen til nederste magasin. Tilsigsberegninger bør utføres i samråd med Hydrologisk avdeling, NVE. Det advares generelt mot ukritisk bruk av beregnede tilsigsdata da ekstremverdier i slike serier er forholdsvis unøyaktige, se for øvrig vedlegg 6 om bruk av tilsigsdata.

### **4.3.2 Kvalitetskontroll**

Alle hydrologiske data som skal brukes i en flomberegning bør i prinsippet kontrolleres, men dersom denne kontrollen blir veldig tidkrevende og praktisk vanskelig å gjennomføre, er det tilstrekkelig å gjennomføre kontroll av data fra de viktigste vannføringsstasjonene.

Kvaliteten av vannføringskurven for sentrale vannføringsstasjoner bør alltid vurderes. I programmene DAGUT og FINUT fins funksjonen "Vis kurvekvalitet", som gir slike opplysninger. Hvis flomvannføringene hvert år faller langt ut på den ekstrapolerte delen av kurven, bør dataene tillegges mindre vekt.

Ekstreme flomvannstander bør kontrolleres for mulige feilregistreringer. Dette gjelder også magasin vannstander som er blitt brukt ved tilsigsberegninger når disse fører til store tilsigsflommer.

Spørsmål om datakvalitet kan også rettes til Hydrologisk avdeling, NVE.

### **4.3.3 Observerte data**

Grunnlaget for de fleste flomanalyser er døgnlige middelveidier for vannføring. De fleste hydrologiske målestasjonene ble utrustet med kontinuerlig registrerende utstyr først i 1960-70 årene. Særlig de lange observasjonsseriene inneholder derfor også data som er manuelt avleste en gang i døgnet. Disse data antas som regel å representere døgnmiddelveidier, men kan være større eller mindre enn de virkelige døgnmiddelveidier. Videre er døgnmidler basert på kontinuerlige registreringer beregnet for kalenderdøgn. Største døgnverdi er derfor oftest noe mindre enn største 24-timers middel.

De observasjoner som foretas er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på et antall samtidige observasjoner av vannstander og målinger av vannføring i elven. Nye vannføringsmålinger kan føre til endret vannføringskurve, og historiske vannføringsdata er derfor ikke statiske. Man må derfor ved hver flomberegning utføre nye flomanalyser eller kontrollere at vannføringskurven ikke er endret, hvis man skal benytte resultater fra en gammel flomanalyse.

Ved flomberegninger er det ofte ønskelig å kjenne kulminasjonsvannføringene, som ofte vil være betydelig større enn døgnmidlet. Foreligger data med fin tidsoppløsning for hele eller deler av observasjonsperioden, bør disse alltid brukes til å vurdere forholdet mellom kulminasjonsverdi (momentanflom) og døgnmiddelflom. Det er viktig å påse at ikke isoppstuede momentanverdier brukes, dvs. at man må kontrollere flomverdiene mot data fra HYDAG der korreksjon for isoppstuvning er utført.

I mange tilfeller kan det være en fordel å konstruere dataserier, såkalte arbeidsserier, for steder der det ikke foreligger direkte observasjoner. Hvis det foreligger data fra to elver som møtes, kan man for eksempel konstruere en dataserie for elven nedstrøms samløpet. I dette tilfellet kan arbeidsserien lages ved først å skalere de to seriene til å representere vannføringene umiddelbart oppstrøms samløpet. Deretter adderes de observerte (og skalerte) dataseriene. Dataserier kan også konstrueres for å ta hensyn til overføringer, ved å korrigere observert vannføring ved en målestasjon med observert overføring.

Kortere dataserier kan forlenges ved bruk av regresjonsmodeller eller nedbør-avløpsmodeller. Det advares mot ukritisk bruk av slike dataserier. Spesielt må det legges vekt på beskrivelsen av flomforløpene ved kalibreringen av slike modeller.

I mange tilfeller fins det enkeltobservasjoner av flomvannstander eller flomvannføringer fra det aktuelle feltet registrert av dameier, NVE eller andre. Alternativt kan store tilløpsflommer beregnes ut fra observert volumendring i magasin og eventuell tapping. Slike data skal alltid presenteres i flomberegningsrapporten, eventuelt skal det kommenteres spesielt hvis slike data ikke er tilgjengelige. På tross av at disse vanskelig lar seg knytte til bestemte gjentakintervall, kan de ofte gi verdifull tilleggsinformasjon.

## 4.4 Meteorologiske data

Nedbør- og lufttemperaturdata er ofte nødvendige i forbindelse med en flomberegning. Observerte data, enten med fin tidsoppløsning eller i form av døgnlige verdier, kan bestilles fra Meteorologisk institutt. Verdier for ekstrem nedbør skal bestilles fra Meteorologisk institutt eller en annen meteorologisk institusjon, som kan dokumentere en faglig god beregningsmetodikk. På [www.yr.no](http://www.yr.no) kan en blant annet finne klimastatistikk, som nedbør- og temperaturnormaler for en lang rekke meteorologiske stasjoner.

### 4.4.1 Data med fin tidsoppløsning

Særlig i forbindelse med modellkalibrering kan det være behov for nedbørdata med finere tidsoppløsning enn ett døgn. Meteorologisk institutt har enkelte stasjoner hvor nedbøren registreres kontinuerlig. Slike nedbørdata kan sammen med kontinuerlige registreringer fra en vannføringsstasjon danne grunnlag for kalibrering av en hydrologisk modell for det aktuelle feltet. Se avsnittet ”Flommodellen” i kapittel 5.4.2.

### 4.4.2 Døgnlige data

Døgnverdier for nedbør og døgnmiddelverdier for temperatur er nødvendige hvis full HBV-modell skal kalibreres for bruk ved flomberegning. Midlere og ekstreme nedbør- og temperaturdata kan også være nyttige å bruke når man skal vurdere i hvilken tid på året som man kan vente at ekstreme flommer opptrer. Normalverdier for nedbør og temperatur finnes i [9], [10] og [11]. Nedbør- og temperaturdata benyttes også som grunnlag for å anslå snøsmelting under flom. En undersøkelse om temperatur og snødata for flomberegning er utført av Meteorologisk institutt i [12].

### 4.4.3 Ekstreme nedbørverdier

Ekstreme nedbørverdier beregnes av Meteorologisk institutt etter en metodikk som er beskrevet i [13], men som er i stadig utvikling. Verdiene beregnes på grunnlag av opplysninger om det aktuelle feltets beliggenhet, høydeintervall og eventuelt medianhøyde og normalavløp. De ekstreme nedbørverdiene oppgis for forskjellige sesonger og for forskjellige varigheter. Ved bestilling må derfor flomskapende sesong og ønsket varighet oppgis, se kapittel 5.2 og 5.3. Arealreduksjonsfaktorer, som er forskjellige for ulike varigheter, oppgis på grunnlag av feltets areal.



## 4.5 Data for reguleringsystemet

Data for reguleringsystemet, inklusive dammer, flomløp og overføringer, innhentes fra den ansvarlige for vassdragsanlegget. Godkjent fagansvarlig skal påse at riktige data for reguleringsystemet benyttes. Opplysninger om feltarealer, magasinarealer, overføringskapasiteter og dammenes avledningskapasiteter må kontrolleres. Arealer kan være beregnet ut fra gamle kart, og overføringskapasiteter og dammenes avledningskapasiteter kan være beregnet ut fra forutsetninger som ikke gjelder lenger. For eksempel kan det ha vært benyttet opplysninger om prosjekterte tunneltverrsnitt eller overløpslengder som ikke stemmer med dagens forhold. Den ansvarlige for vassdragsanlegget skal sørge for at ajourførte opplysninger er tilgjengelige. Det kan være behov for befaring og/eller nye oppmålinger. Kompliserte overføringssystemer og flomløp skal kontrolleres og/eller beregnes av godkjent fagansvarlig i fagområde V og aktuell klasse.

Størrelsen av samtlige magasin som inngår i flomberegningen må bestemmes. Magasinene kan beskrives av to eller flere vannstander med tilhørende magasinivolum, gjerne basert på detaljerte dybdekart. Disse vannstandene skal dekke intervallet som flomvannstandene befinner seg i. Hvis ikke magasincurve eller magasin tabell foreligger, estimeres volumet ut fra sjøarealet ved høyeste regulerte vannstand (HRV).

Ved overføringer inn i feltet er det viktig å finne arealet til det overførte feltet og avklare hvordan overføringen finner sted. Ved overføring fra bekkeinntak er det vanligvis tilløpsflommen fra feltet som overføres, begrenset av overføringskapasiteten. Overføring fra innsjø/magasin kan foregå med full overføringskapasitet under hele flomforløpet, uavhengig av tilløpsflommens størrelse i det overførte feltet. Ved tak rennesystemer (dvs. flere inntak til samme overføringstunnel) kan det være kompliserte overføringsforhold på grunn av forskjellige trykknivåer i inntakene.

Metodikk for beregning av overføringskapasiteter finnes i faglitteratur for hydraulikk. I tilfeller hvor overføringskapasiteten er stor i forhold til størrelsen på lokalflommen, må kapasiteten beregnes ekstra nøye.

Flomavledningskapasiteter ved forskjellige vannstander over HRV må beregnes. Det må tas spesielt hensyn der flomløpet er sammensatt av flere deler med forskjellige terskelnivåer, lengder og overløpskoeffisienter, eller der det er flere flomløp rundt ett magasin og/eller manøvrerbare flomløp. Videre må det tas hensyn til at vannstanden ved store flommer kan renne over dammen eller deler av den, eller over terrenget. Det må tas hensyn til eventuelle sekundærdammer. Avløpskurven for et magasin etableres ved at kapasiteten for flomløp/flomløpsdeler, og eventuelt kapasiteten ved overtopping av dam/damdeler og over terreng beregnes hver for seg. Den totale avløpskapasiteten blir da summen av disse.

Alle aktuelle terskelhøyder bestemmes i meter over havet (moh.) eller i forhold til HRV.

Det skal tas hensyn til eventuelle kapasitetsbegrensninger i alle deler av flomløpet. Typiske problemer kan være falltap i elvestrekning/kanal mellom magasin og overløpsterskel, skjev innstrømning mot overløpsterskel, sidekontraksjon ved piler i overløpet, eventuelle hindringer som gangbru eller rekkverk over dammen og ugunstige avløpsforhold. Ugunstige avløpsforhold kan for eksempel skyldes lite fall nedstrøms overløpsterskel. Kapasiteten av flomløp med lukket avløp (sjakt/tunnel) skal være bestemt av overløpsterskelen, jf. damsikkerhetsforskriften § 5-8, åttende ledd [1].

Det skal benyttes anerkjente metoder ved beregning av avløpskapasitet fra et magasin. Der det er uoversiktlige innstrømningsforhold eller andre forhold som gjør det vanskelig å beregne avløpskapasiteten, bør godkjent fagansvarlig, fagområde V, vurdere om det er behov for hydrauliske modellforsøk eller prøvetapping, for å fastsette flomløpets totale kapasitet. Metodikk for beregning av flomavledningskapasiteter er beskrevet i [14].

Beregninger av kapasiteter for flomløp og viktige overføringer skal dokumenteres i flomberegningsrapporten med henvisning til oppdaterte tegninger og kartgrunnlag.

## 5 Beregning av tilløpsflom

Det er de klimatiske og fysiografiske forholdene i vassdragene som påvirker flomforholdene.

Som en hovedregel er det regn som skaper flom, og da særlig høye intensiteter med varigheter som tilsvarer konsentrasjonstiden til vassdraget. Dette varierer fra noen minutter i urbane områder til noen uker i store vassdrag som Glomma eller i innsjøer med trange utløp. Riktignok gir snøsmelting hvert år flommer mange steder i landet, men når skadeflommer oppstår, er det stort sett forårsaket av regn eller en kombinasjon av regn og snøsmelting. Et unntak fra denne regelen er Finnmarksvidda. Her er høydeforskjellene små, og en varmeperiode kan gi intens snøsmelting over store områder samtidig. Det er likevel ikke en entydig sammenheng mellom store nedbørmengder og flom. De største flommene oppstår som regel når nedbør kombineres med andre ugunstige forhold, som snøsmelting, mettet mark på grunn av tidligere nedbør, eller frossen mark.

Nedbør og spesifikt avløp, inkludert flommer, er mye større i kystområdene fra Sørvestlandet til Nordland/Troms enn i de øvrige delene av landet, [9] og [3]. Også årstiden for de største flommene varierer fra landsdel til landsdel. I kyststrøkene er det høst- og vinterflommer som dominerer; forårsaket av frontnedbør ofte kombinert med snøsmelting. I innlandsstrøkene er det ofte våren og forsommeren som er kritisk, med stor snøsmelting kombinert med regn, og høstmånedene, med regn på mettet mark. Det er imidlertid flere eksempler på store flommer også i sommermånedene i innlandsstrøk; Stor-Ofsen 1789 på Østlandet, 1927-flommen i Telemark og 1940-flommen i Sør-Trøndelag. Disse flommer var regnflommer med lite eller intet bidrag fra snøsmelting.

De store vassdragene krever store volumer av tilført vann for å bygge opp en storflom. Dette kan forårsakes av sterk smelting av store snømengder kombinert med nedbør, eller nedbørsystemer som stopper opp og blir liggende tilnærmet stasjonære over flere døgn. Det inntreffer ofte at bare deler av et stort vassdrag får nedbør samtidig, eller at intensiteten varierer mye innenfor vassdraget. Avløpet fra de forskjellige delene av feltet kommer da til ett og samme punkt i hovedvassdraget til forskjellige tidspunkter. Dette fører til at store vassdrag har mindre spesifikke flommer enn små vassdrag, hvor det kan være intens nedbør over hele feltet samtidig, og hvor vannet bruker kort tid for å nå ned i hovedvassdraget.

Små vassdrag, og særlig urbaniserte felt, er karakterisert ved rask flomstigning og spisse flomforløp. I slike felt opptrer flommer gjerne i forbindelse med intens konvektiv nedbør om sommeren og høsten. Større felt reagerer vanligvis ikke på disse situasjonene; arealutbredelsen av nedbøren er for liten og markvannsunderskuddet er vanligvis stort om sommeren.

Høydefordelingen og helningsforholdene i nedbørfeltet har avgjørende betydning for flomutviklingen i et vassdrag. Normalt inntreffer ikke snøsmeltingen samtidig i høyfjellet og lavlandet, men i felt med liten høydeforskjell kan snøsmeltingen være omtrent like intens i hele feltet samtidig. I bratte felt vil derimot flomvannet samles raskere i hovedvassdraget enn i flate felt. Det samme gjelder felt med et godt utviklet dreneringsnett i forhold til felt med få bekker og elver.

Forekomsten og plasseringen av innsjøer i et nedbørfelt har stor betydning for flomutviklingen. Innsjøer virker flomdempende, særlig store innsjøer og innsjøer langt nede i vassdraget.

Flomforhold ved et stort antall vannføringsstasjoner i Norge er beskrevet i [15] og [16].

## 5.1 Generell metodikk

Generelt kan metodene for beregning av tilløpsflommer inndeles i to hovedgrupper:

- flomfrekvensanalyser
- nedbør-avløpsanalyser

Flomfrekvensmetoden er basert på analyser av målte avløpsserier eller beregnede tilsigsserier, eventuelt konstruerte dataserier som nevnt i avsnittet "Observerte data" i kapittel 4.3. Nedbør-avløpsmetoden er basert på frekvensanalyser av nedbørdata, hvor nedbør- og eventuelt snøsmelteverdier overføres til flomverdier ved hjelp av hydrologiske modeller.

Vanligvis skal flomfrekvensmetoden benyttes for beregning av tilløpsflommer med gitte gjentaksintervall. For små vassdrag og i områder med dårlig datagrunnlag kan det være nødvendig å benytte nedbør-avløpsmetoden for tilløpsflomberegningen. I slike tilfeller må resultatet likevel vurderes mot observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser.

I tilfeller med mangelfullt hydrologisk datagrunnlag anbefales det å bruke begge metodene og sammenligne resultatene, før den endelige fastsetting av tilløpsflom. Hvis usikkerheten i ett av estimatene er vesentlig mindre enn i de andre, velges den sikreste verdien. Ellers anbefales det å bruke et vektet middel av de aktuelle estimatene, eller den beregningen som gir størst verdi (konservativ beregning). Bruk av begge metodene kan også danne grunnlag for en kvalitetsvurdering av valgt nedbør-avløpsmodell.

Eventuelt kan tilløpsflommer beregnet med begge metoder benyttes for beregning av avløpsflom og flomvannstand. Den endelige fastsettelsen av flomstørrelsen velges da ut fra resultatene av flomrutingen.

Påregnelig maksimal flom ( $Q_{PMF}$ ) kan ikke knyttes til et gjentaksintervall. Derfor må nedbør-avløpsmetoden benyttes ved beregning av påregnelig maksimal tilløpsflom.

Der man velger å bruke  $1,5 \cdot Q_{dim}$  som alternativ til  $Q_{PMF}$  (mulig for klasse 1 og 2-dammer), er det tilløpsflommen som skal skaleres. For å finne resulterende avløpsflom og flomvannstand må eventuelt tilløpsflommen rutes gjennom magasinet på vanlig måte. I vassdrag med flere oppstrøms magasin, skal tilløpet til hvert magasin skaleres.

Store (> ca. 1000 km<sup>2</sup>) og sammensatte felt medfører alltid spesielle problemer ved flomberegninger. Ved slike felt vil det være feil å kombinere en avløpsflom med gjentaksintervall for eksempel 1000 år fra et oppstrøms magasin med flom med gjentaksintervall 1000 år fra lokalfeltet nedenfor. En slik kombinasjon kan føre til at resulterende flom får et gjentaksintervall større enn 1000 år. De kritiske flommene kan også være av forskjellig varighet ved ulike magasin i samme vassdrag. Store og sammensatte felt må derfor vurderes nøye og kan kreve flere beregninger, for eksempel en frittstående beregning for det øverste delfeltet/magasinet og en ny beregning for hele feltet, med de forutsetninger som er kritiske for det nedenforliggende magasinet. Slike beregninger er nærmere behandlet i kapittel 7.

Beregninger av tilløpsflommer vil alltid ha en viss grad av usikkerhet avhengig av det tilgjengelige datagrunnlaget. I mange tilfeller er det derfor mulig å forenkle en flomberegningsoppgave uten at det forringer kvaliteten ved beregningen. For eksempel kan det være rimelig å benytte samme spesifikke flomverdier for flere felt, når oppgaven gjelder en rekke dammer i ett eller flere nærliggende små vassdrag. Også i større vassdrag kan det være rimelig å benytte samme spesifikke flomverdier for to felt, når den ene dammen ligger like nedstrøms den andre og har relativt lite lokalfelt. Slike

forenklinger må alltid vurderes nøye ut fra de klimatiske forholdene og ut fra feltegenskapene som påvirker flomforholdene, særlig feltareal og innsjødekning.

## 5.2 Sesonginndeling

For store deler av landet skilles mellom to forskjellige typer flommer, vårflommer og sommer/høstflommer. Disse må derfor statistisk behandles adskilt.

Vårflommene er vesentlig forårsaket av snøsmelting, men ofte i kombinasjon med regn, og de har relativt lang varighet og stort volum. Flomstørrelsene øker gjerne langsomt med økende gjentaksintervall.

Sommer/høstflommene er oftest kortvarige og er hovedsakelig forårsaket av nedbør med stor intensitet. Flomstørrelsene øker normalt relativt raskt med økende gjentaksintervall. Siden store sommer/høstflommer ikke er årvisse er det lett å undervurdere risikoen for slike flommer ut fra korte observasjonsserier.

Sesonginndelingen i vår- og sommer/høstflommer må velges ut fra feltets beliggenhet. I høyereleggende felt starter og slutter vårsesongen senere og høstsesongen slutter tidligere enn i lavereleggende felt. I enkelte deler av landet, for eksempel langs kysten, vil det være umulig å skille mellom de to flomtypene, slik at årsflommer må behandles. Ut fra observerte flommer i eller i nærheten av feltet kan den flomskapende sesongen fastlegges, [15] og [16], og derved også hvilke ekstreme nedbørverdier som skal ligge til grunn for eventuell beregning ved en hydrologisk modell. Det vil for eksempel være feil å bruke ekstreme vinterverdier på nedbøren, dersom det er mest sannsynlig at nedbøren kommer i form av snø i store deler av feltet. I innlands- og høyfjellsfelt kan det være enten en vårsituasjon eller en sommer/høstsituasjon som er mest kritisk. I slike tilfeller kan det være behov for å beregne begge alternativer. I bredominerte felt opptrer vanligvis de største flommene om sommeren eller tidlig om høsten.

Hvis det er store flommer både vår og høst i et område, kan det være fare for at man undervurderer de store flommene ved å utføre separate analyser for vår- og høstsesongen. Hvis for eksempel  $Q_{1000}$ -verdien for vårflommer blir like stor som  $Q_{1000}$ -verdien for høstflommer, kan i prinsippet den flomstørrelsen opptre to ganger på 1000 år, og altså være en 500-årsflom. I slike tilfeller bør man utføre flomfrekvensanalyse uten sesonginndeling, dvs. på årsflommer.

Ved analyser av flommer i høstsesongen skal man være oppmerksom på at det ikke alle år opptrer høstflommer, eller at de ofte kan være relativt små. Dette fører til at frekvenskurven for høstsesongen ofte blir meget bratt, og flommer med store gjentaksintervall kan overvurderes. Hvis dataserien inneholder kun noen få store høstflommer, anbefales det isteden å utføre flomfrekvensanalysen uten sesonginndeling.

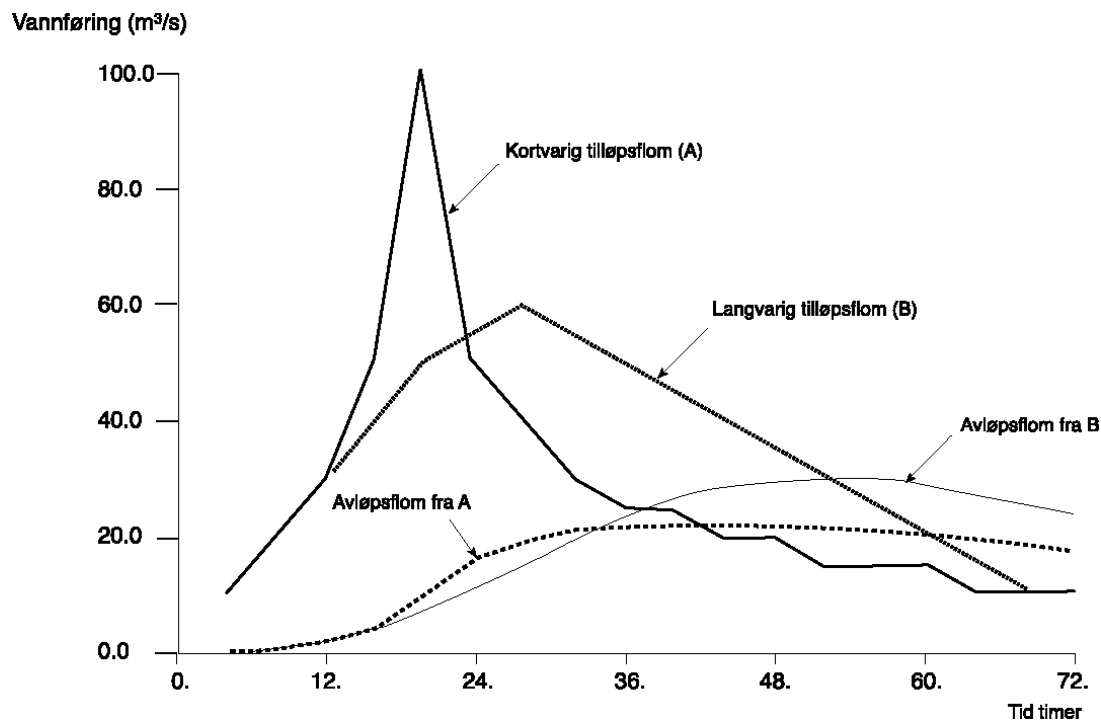
## 5.3 Flomvarighet

Avløpsflommens størrelse er selvsagt avhengig av tilløpsflommen, men også av flomdempningen i magasinet, dvs. av magasinet areal og flomavledningsorganenes karakteristikk og manøvrering. Dersom dempningen er ubetydelig vil avløpsflommen være lik tilløpsflommen. I slike tilfeller er det derfor nok å bestemme tilløpsflommens kulminasjonsverdi.

Vanligvis gir likevel magasinet en viss flomdempning, og det får mer tid til å reagere dess lengre tilløpsflommen varer, dvs. dess større volum tilløpsflommen har. Imidlertid avtar midlere intensitet på tilløpsflommen med økende varighet for et gitt gjentaksintervall, og det eksisterer derfor en kombinasjon av volum og maksimal intensitet som gir størst avløpsflom. Den tilsvarende varigheten har man valgt å kalle den kritiske varigheten for magasinet,  $V_M$ .

Det er tilløpsflommens volum eller middelintensitet over magasinets kritiske varighet som er viktigst å bestemme så godt som mulig. For lengre varigheter er middelintensiteten på avløpsflommen avtagende, for kortere varigheter blir variasjonene dempet ut i magasinet. Er magasinets kritiske varighet større enn ett døgn, har tilløpsflommens kulminasjonsverdi begrenset innflytelse på avløpsflommen, og det kan legges mindre vekt på å bestemme tilløpsflommens kulminasjon.

Kritisk varighet kan bestemmes ved prøving og feiling ved å rute flommer med forskjellig varighet gjennom magasinet. Den varighet som gir størst avløpsflom velges og danner grunnlag for videre beregninger. Prinsippet ved en slik fremgangsmåte er vist i figur 5.1. Her gir det store volumet i den langvarige tilløpsflommen større kulminasjonsvannføring i avløpet enn den kortvarige tilløpsflommen, på tross av at den kortvarige tilløpsflommen har adskillig større kulminasjonsvannføring i tilløpet.



Figur 5.1. Eksempel på ruting av en kortvarig tilløpsflom med stor kulminasjonsvannføring, og en langvarig tilløpsflom med mindre kulminasjonsvannføring, men større volum.

For magasin med fast overløp kan kritisk varighet finnes tilnærmet ved følgende formel:

$$V_M = 480 \cdot A_M \cdot Q_i^{-1/3} \cdot (C \cdot L)^{-2/3} \quad [\text{timer}]$$

hvor  $A_M$  er magasinets areal ved HRV uttrykt i  $\text{km}^2$ ,  $L$  er det faste flomløpets lengde i meter og  $C$  er overløpskoeffisienten jf. retningslinjer for flomløp, kapittel 3 [14].  $Q_i$  er tilløpsflom i  $\text{m}^3/\text{s}$ , midlet over  $V_M$ .  $V_M$  er relativt lite følsom for variasjonen i  $Q_i$ . Ved bruk av denne formel kan man derfor benytte samme kritiske varighet for dimensjonerende flom og påregnelig maksimal flom.  $Q_i$  kan som regel settes til fire ganger middelflom ( $Q_M$ ) over ett døgn.

Formelen over er framkommet ved å betrakte et magasin med initialvannstand på HRV og med fast overløp og en tilløpsflom med konstant intensitet.  $V_M$  defineres som det tidspunkt hvor avløpsflommen har nådd opp i 80 % av tilløpsflommens intensitet.

I tillegg til magasinets kritiske varighet,  $V_M$ , må det også tas hensyn til feltets konsentrasjonstid,  $V_F$ , definert som vannets transporttid fra øverste del av feltet til magasinet.  $V_F$  kan vanligvis settes til  $1/K_2$ , der  $K_2$  er nedre tømme konstant i flommodellen, som beskrevet i eget avsnitt i kapittel 5.4.2.  $V_F$  kan også anslås ut fra feltlengden og en antatt middelhastighet for vannet på 1 – 2 m/s, eller ut fra anerkjente formler for beregning av konsentrasjonstid. Total varighet av tilløpsflommen bør være minst  $1.5 \cdot (V_F + V_M)$ .

## 5.4 Beregning av tilløpsflommens størrelse og forløp

Normalt er det både tilløpsflommens størrelse (kulminasjonsvannføring og volum) og forløp som skal beregnes. Når flomdempningen i magasinet er liten, er det viktig at kulminasjonsvannføringen beregnes nøye, mens flommens volum har mindre betydning. Når flomdempningen i magasinet er stor, er det viktig at flomvolumet beregnes nøye. Tilløpsflommen kan beregnes enten basert på flomfrekvensanalyser eller ved nedbør-avløpsmetoden.

### 5.4.1 Flomfrekvensmetoden

Den anbefalte metoden for beregning av flomstørrelser med gitte gjentaksintervall er frekvensanalyse av observerte flomdata. Metodikken for frekvensanalyser er kortfattet beskrevet i [17] og [20]. Se vedlegg 1 for beskrivelse av aktuelle dataprogrammer.

Frekvensanalyse av observerte data gir middelflommen ( $Q_M$ ) for en gitt varighet, flomverdier for forskjellige gjentaksintervall og forholdstallet mellom flom med T års gjentaksintervall ( $Q_T$ ) og middelflommen for samme varighet. Et eksempel på en flomfrekvensanalyse med fem forskjellige fordelingsfunksjoner er vist i figur 5.2. Et eksempel på flomfrekvensanalyse med forskjellige varigheter er vist i figur 5.3.

Bruken av flomfrekvensanalyse er avhengig av de aktuelle dataserienes lengde og gjentaksintervallet for flommen som skal beregnes.

Ved beregning av  $Q_{1000}$  anbefales for dataseriens lengde:

- > 50 år:  $Q_M$  beregnes fra observert serie og  $Q_{1000}/Q_M$  fra to- eller tre-parameterfordelinger.
- 30-50 år:  $Q_M$  beregnes fra observert serie og  $Q_{1000}/Q_M$  fra to-parameterfordelinger.
- 10-30 år:  $Q_M$  beregnes fra observert serie og  $Q_{1000}/Q_M$  ved analyse av andre lengre serier i området.
- < 10 år:  $Q_M$  beregnes ved korrelasjon mot andre serier og/eller fra flomformler i [17].  
 $Q_{1000}/Q_M$  beregnes ved analyse av andre lengre serier i området.

Samme kriterier vedrørende dataseriens lengde anbefales å legge til grunn også ved beregning av  $Q_{500}$  og  $Q_{200}$ .

Flomfrekvensanalyser kan utføres på basis av enkeltserier, eller ved at et utvalg av serier innen en region analyseres sammen for å bestemme en regional fordelingsfunksjon. Det sistnevnte forutsetter at de ulike seriene skaleres ved divisjon på middelflom.

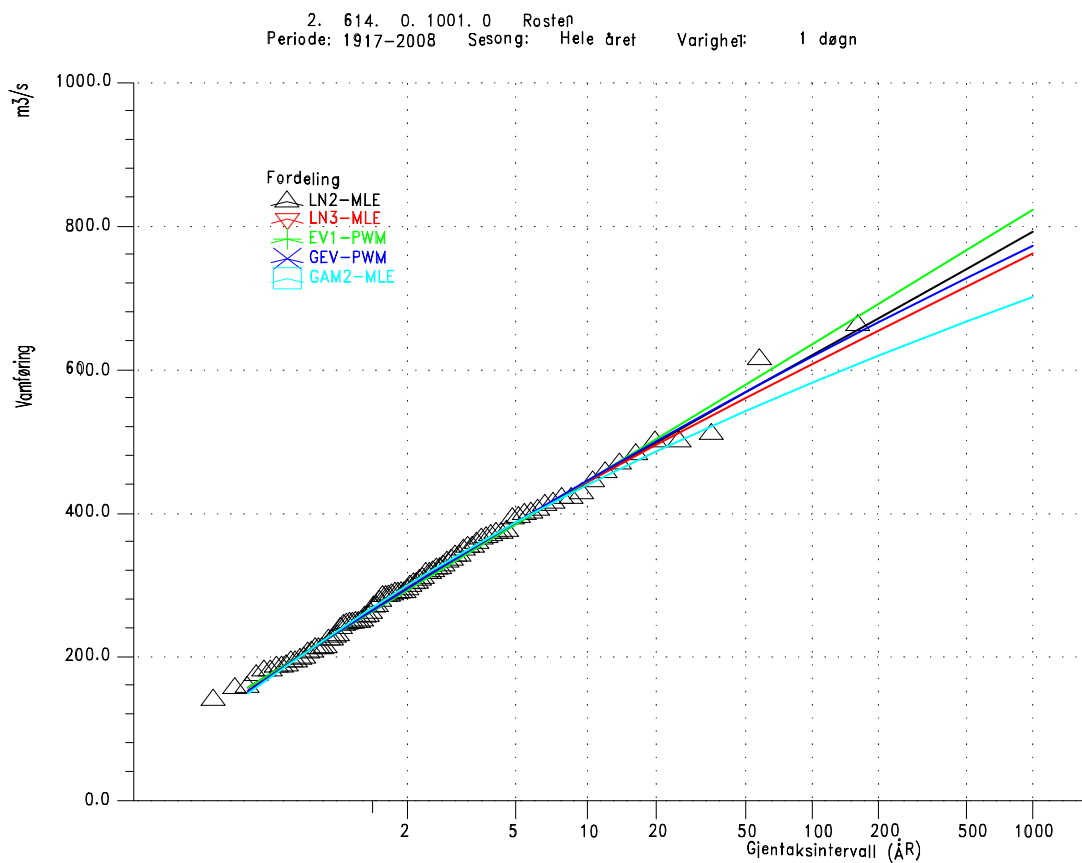
Ved flomfrekvensanalyser velges vanligvis den fordeling som gir best tilpasning til data, særlig de store flommene, ut fra en vurdering av tilpasning for flere fordelinger. Ofte faller valget på Gumbel (EV1) – fordelingen, som er en to-parameterfordeling, eller General Extreme Value (GEV) – fordelingen, som er en tre-parameterfordeling.

Det vil alltid være nødvendig å utføre flomfrekvensanalyser for flere stasjoner i området, både for å kontrollere at enkeltserier ikke gir ekstreme fordelinger, og for å få et bilde av det regionale mønstret

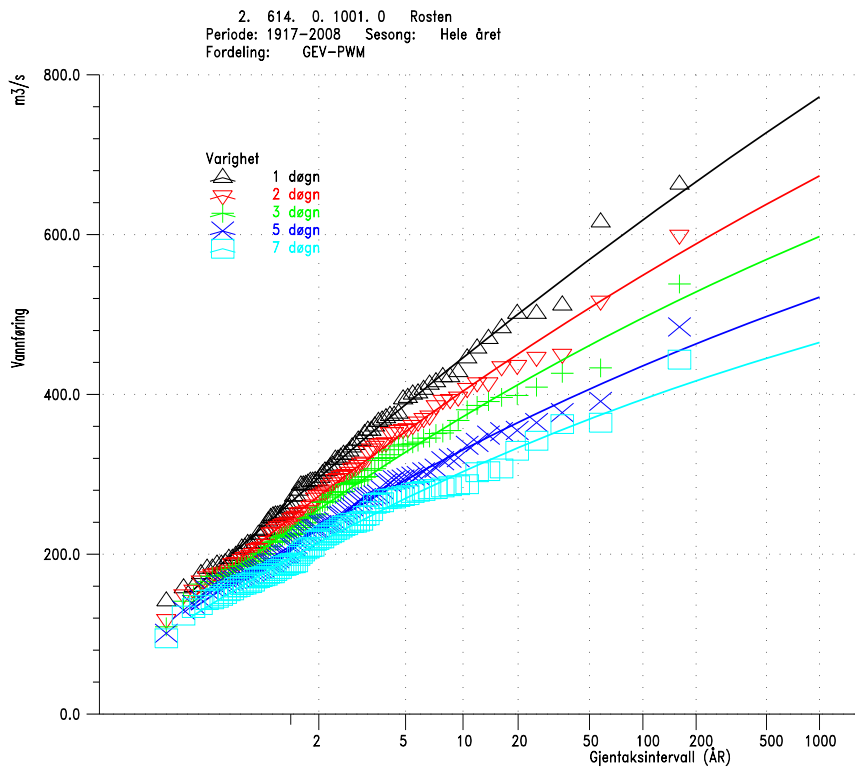
når det gjelder frekvensfordelinger. Ofte velger man et middel av beste fordeling for flere målestasjoner med lange serier i området som mest representativt.

Resultater fra flomfrekvensanalyser må vurderes grundig, særlig hvis det forekommer spesielt store flomverdier i dataserien, som kan antas å ha et vesentlig større gjentakintervall enn seriens lengde.

Man skal være oppmerksom på at også de minste flommene i dataserien er med på å styre den øvre delen av frekvenskurven. Hvis det forekommer enkelte flommer som er mye mindre enn de øvrige, kan det føre til underestimering av flommer med store gjentakintervall. Dette gjelder særlig vårflommer. For høstflommer gjelder at det ofte er mange relativt små flommer, og noen få relativt store flommer. Dette gir en bratt frekvenskurve, som kan føre til overestimering av flommer med store gjentakintervall.



Figur 5.2. Eksempel på flomfrekvensanalyse med forskjellige frekvensfordelinger.



Figur 5.3. Eksempel på flomfrekvensanalyse med varigheter fra 1 til 7 døgn.

Ved beregning av  $Q_M$  og forholdet  $Q_T/Q_M$  er det viktig å bruke ulike fremgangsmåter. En bør derfor sammenligne resultatene fra flomfrekvensanalyser på observerte data med forskjellige fordelinger med flomfrekvensanalyser basert på observasjoner for nærliggende stasjoner og resultater fra regional flomfrekvensanalyse.

#### 5.4.1.1 Beregning av ett-døgnsflom

Hvis data foreligger for det aktuelle feltet som skal beregnes, eller for et nærliggende sted i samme vassdrag, beregnes flomverdier fra flomfrekvensanalysen, vanligvis ved en skalering av middel-flommen i  $m^3/s$  basert på forskjell i feltareal. Hvis flomfrekvensanalysen er basert på data fra før regulering, må flomverdiene korrigeres for den selvregulering som har gått tapt i regulerte sjøer. Se avsnittet "Generelt" i kapittel 4.3.

Hvis data ikke foreligger, beregnes  $q_M$  i  $l/s$  pr.  $km^2$  ved sammenligning med  $q_M$ -verdier for nærliggende felt og/eller fra flomformler i [17].  $q_M$ -verdiene kan variere mye i samme område, avhengig av forskjeller i feltegenskaper som areal, forekomsten av innsjøer, feltenes høydefordeling og helning m.m. Dette må det tas hensyn til ved bestemmelse av  $q_M$ -verdien for det aktuelle feltet.  $Q_T/Q_M$  ( $q_T/q_M$ ) bestemmes ut fra verdier fra nærliggende felt, beregnet ut fra enkeltserier eller ved en regional analyse, og/eller de regionale flomfrekvenskurvene i [17]. Vanligvis antar man at frekvensfordelingene ikke varierer noe særlig i samme område. Det advares imidlertid mot ukritisk bruk av de regionale flomformlene og flomfrekvenskurvene.



Flomformlene i [17] er gjengitt i tabell 5.1. Se kapittel 4.2 for definisjon av parametrene som inngår i formlene. De gir som resultat en spesifikk døgnmiddelverdi for middelflommen,  $q_M$ . For bestemmelse av feltets regiontilhørighet vises til figur 5.4. Det bør også foretas en vurdering av høydeforhold og tilgjengelige hydrologiske data, for eksempel ved plotting av flomrosen. Flommer om sommeren regnes inn under høstflomregionen.

Tabell 5.1 Formler for beregning av middelflom, døgnmiddel i l/s pr. km<sup>2</sup>, fra [17]. Prefixet ln angir at naturlig logaritme av parameteren benyttes. (NB! Formlene er korrigert, bl.a. på grunn av trykkfeil i [17].)

#### Vårflomregioner

- 1  $\ln q_M = 0,2722 \cdot \ln S_T - 0,1406 \cdot \ln A_{SE} + 0,1006 \cdot \ln A_{SF} + 0,6172 \cdot \ln q_N + 2,11$
- 2  $\ln q_M = 0,0930 \cdot \ln S_T - 0,0816 \cdot \ln A_{SE} + 0,0281 \cdot \ln A_{SF} + 0,5076 \cdot \ln q_N + 3,59$
- 3  $\ln q_M = 0,3066 \cdot \ln S_T - 0,0220 \cdot \ln A_{SE} + 0,0939 \cdot \ln A_{SF} + 0,3252 \cdot \ln q_N + 3,09$
- 4  $\ln q_M = 0,1848 \cdot \ln S_T - 0,0137 \cdot \ln A_{SE} + 0,0873 \cdot \ln A_{SF} + 0,5143 \cdot \ln q_N + 2,77$

#### Høstflomregioner

- 1  $\ln q_M = 1,2805 \cdot \ln q_N - 0,2267 \cdot \ln(A/L_F) - 0,0664 \cdot A_{SE} + 0,0053 \cdot S_T + 1,00$
- 2  $\ln q_M = 1,2910 \cdot \ln q_N - 0,1602 \cdot \ln(A/L_F) - 0,0508 \cdot A_{SE} + 0,0065 \cdot S_T + 0,65$
- 3  $\ln q_M = 1,2014 \cdot \ln q_N - 0,0819 \cdot \ln(A/L_F) - 0,0268 \cdot A_{SE} + 0,0013 \cdot S_T + 1,07$

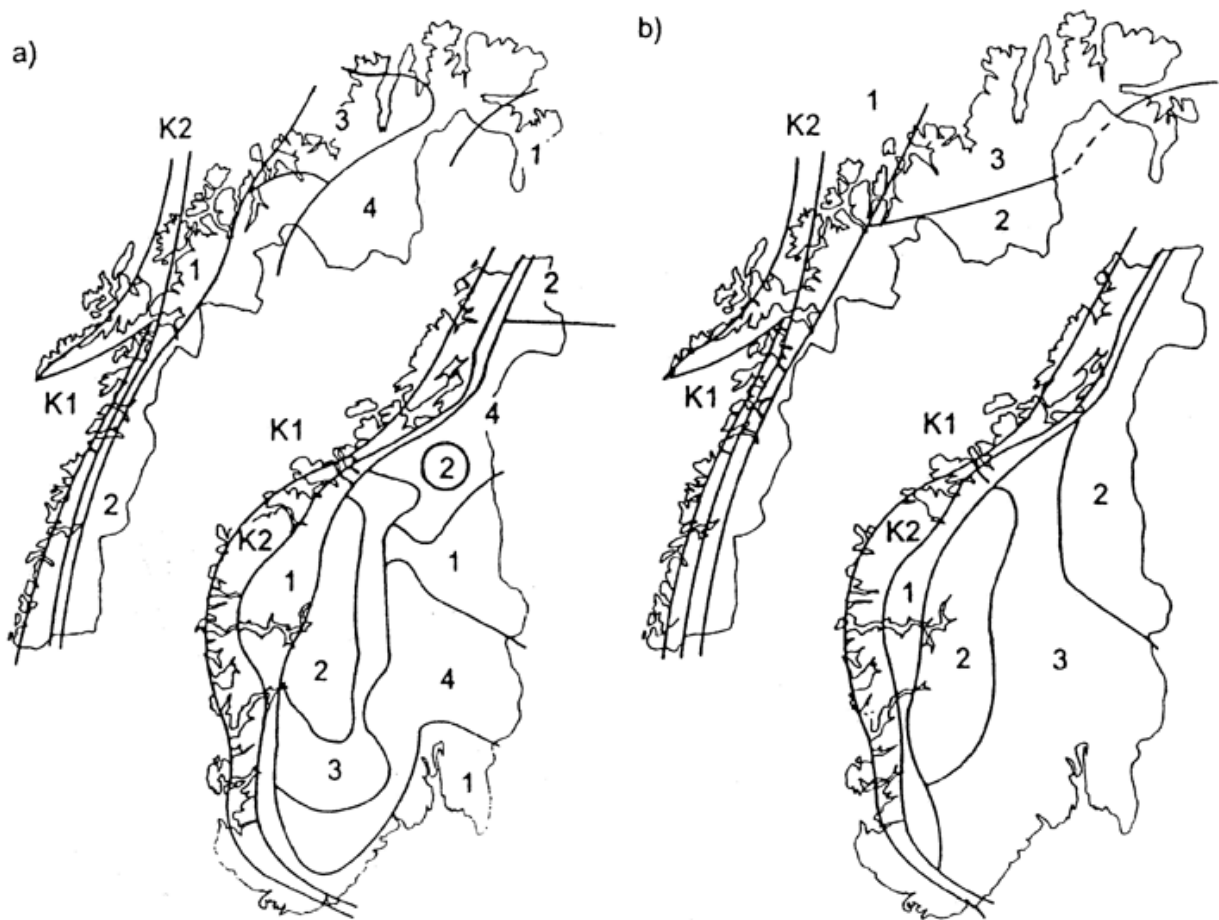
#### Bre- og årsflomregioner

- BRE  $\ln q_M = 0,0119 \cdot q_N - 0,0848 \cdot A_{SE} - 0,0165 \cdot L_F + 5,81$
- K1  $\ln q_M = 1,5212 \cdot \ln q_N - 1,1516 \cdot \ln P_N - 0,0569 \cdot A_{SE} - 0,0093 \cdot L_F + 8,80$
- K2  $\ln q_M = 1,1524 \cdot \ln q_N - 0,0463 \cdot A_{SE} + 1,57$

Flomformlene gjelder for felt  $> 20 \text{ km}^2$ , men bør brukes forsiktig for felt  $< 100 \text{ km}^2$ . Sjøarealet for magasinet som beregningen utføres for skal ikke regnes med i effektiv sjøprosent, ettersom tilløpsflommen skal beregnes. Hvis imidlertid  $A_{SE}$  da blir nær null, vil resultatet bli veldig usikkert, fordi flomformlene i de fleste tilfeller ikke er utledet med data fra slike felt. Hvis  $\ln A_{SE}$  inngår i formelen men,  $A_{SE}$  er 0 %, benyttes verdien 0,001. Hvis fjellprosenten,  $A_{SF}$ , er 0, blir også resultatet svært usikkert. Det anbefales derfor ikke å benytte flomformler for å beregne vårflommer i rene lavlandsfelt.

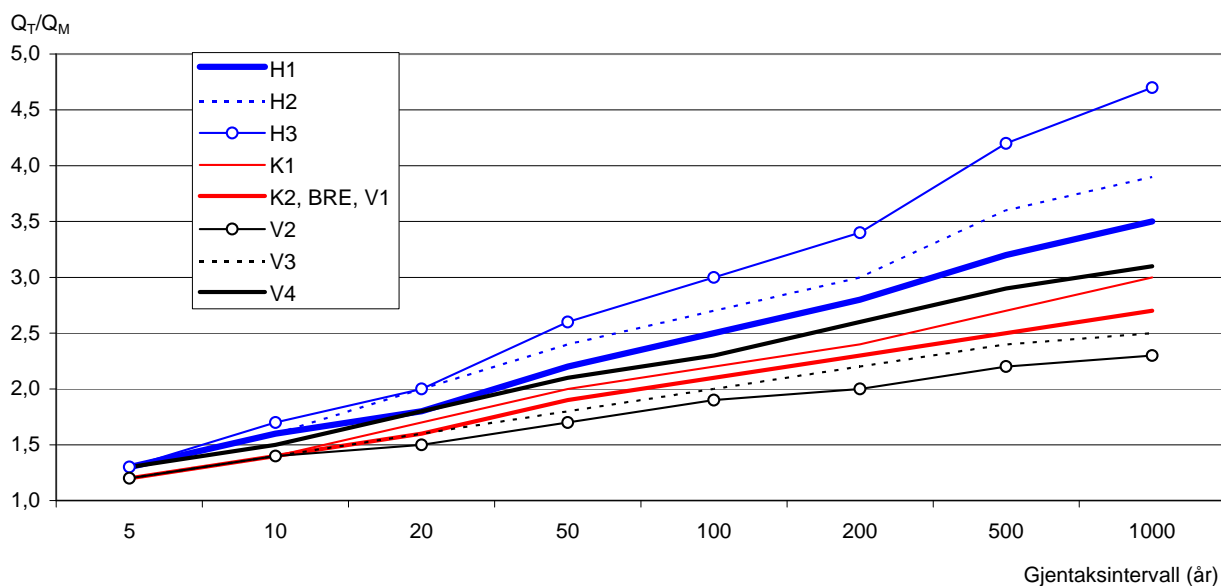
I de tilfeller der spesifikke verdier for middelflommen er beregnet, skal de omregnes til vannføringsverdier ved skalering med nedbørfeltets areal, inklusive magasinareal.

De regionale flomfrekvenskurvene fra [17] er gjengitt i figur 5.5.



Figur 5.4. Inndeling i flomregioner, årsflommer (K1 og K2), vårflokker (a) og høstflokker (b), fra [17].

	$Q_5/Q_M$	$Q_{10}/Q_M$	$Q_{20}/Q_M$	$Q_{50}/Q_M$	$Q_{100}/Q_M$	$Q_{200}/Q_M$	$Q_{500}/Q_M$	$Q_{1000}/Q_M$
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



Figur 5.5. Regionale flomfrekvenskurver fra [17].

#### 5.4.1.2 Beregning av kulminasjonsvannføring

Hvis  $Q_M$  og  $Q_T$  er beregnet som døgnmiddelveier, må også kulminasjonsverdiene estimeres. Jo mindre magasinet er, desto større betydning får tilløpsflommens kulminasjonsvannføring for avløpsflommen. Hvis data foreligger anbefales det at flomfrekvensanalyse på momentanflommer (kulminasjonsvannføringer) utføres. Alternativt kan forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelveier ved de største flommene i vassdraget eller i sammenlignbare felt benyttes. Se kapittel 4.3.3 om bruk av slike data. Hvis data ikke foreligger anbefales det å benytte de formler, basert på feltparametere, som er utledet i [17], for å beregne forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom. Formlene er gjengitt i tabell 5.2. Se kapittel 4.2 for definisjon av parametrene som inngår i formlene. Vedlegg 2 presenterer observerte forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom for en rekke målestasjoner. For enkelte små felt eller felt med svært liten naturlig dempning er det funnet faktorer opp mot ca. 3,0.

Tabell 5.2 Regresjonsligninger for forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom, fra [17]. Prefixet log angir at Briggske logaritmer (10-logaritmer) av parameteren benyttes.

$$\begin{aligned} \text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} &= 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5} \\ \text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} &= 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5} \end{aligned}$$

Det er viktig å være klar over at disse empiriske ligningene har en form som kan gi urealistiske verdier, særlig for meget store felt og felt med stor effektiv sjøprosent. Ligningene må derfor ikke benyttes ukritisk.

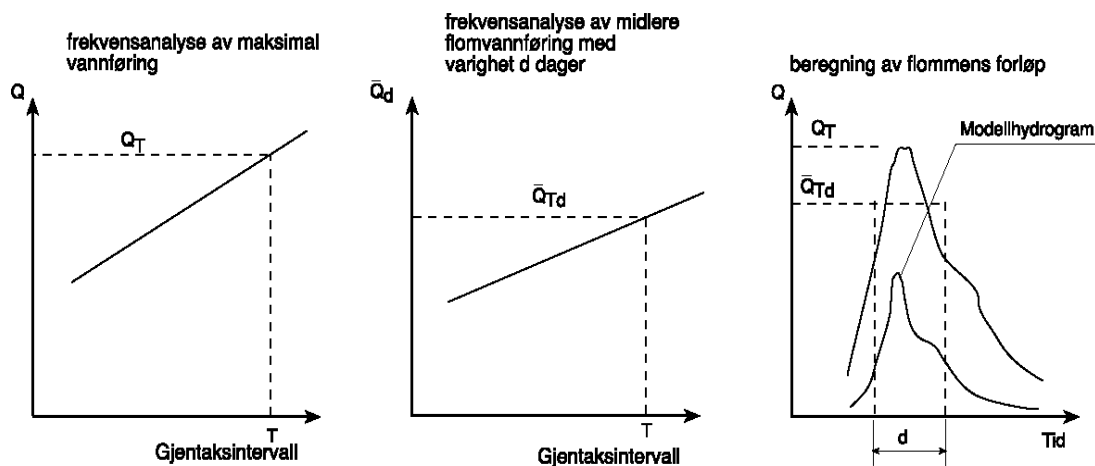
#### 5.4.1.3 Beregning av flomvolum og flomforløp

Flomvolumet i tidsrommet som man skal bestemme et flomforløp for må beregnes. Ved magasin med stor dempning og tidsforsinkelse av flommen er det spesielt viktig å beregne riktig flomvolum.

Flomvolumet over flere døgn beregnes i prinsippet på samme måte som ett-døgnflommen. Frekvensanalysene utføres på flommer med forskjellig varighet. Spesifikke verdier for momentanflom og for flom over ett døgn kan variere i høy grad fra felt til felt avhengig av feltkarakteristika. Denne variasjonen er ikke like markert når det gjelder flomvolumer over flere døgn. Da er det de klimatiske faktorene som er mer utslagsgivende. Hvis data ikke foreligger for det aktuelle feltet, må flomvolumet beregnes ut fra data fra nærliggende målestasjoner. I slike tilfeller legges det vekt på flomfrekvensanalyser for felt med lignende egenskaper, som klimaforhold, feltstørrelse og sjøprosent. Spesifikk middelflom for forskjellige varigheter anslås ut fra resultater fra en eller flere representative, nærliggende målestasjoner. Forholdstallet for  $q_T/q_M$  for forskjellige varigheter anslås ut fra tilsvarende resultater fra en regional flomfrekvensanalyse eller fra en eller flere representative, nærliggende målestasjoner. Flomfrekvenskurven ligger vanligvis lavere og er mindre bratt for økende varigheter. Det foreligger ikke formler for beregning av flomvolumer over flere døgn, slik som for  $q_M$  over ett døgn.

Ved å kombinere  $q_T$ -verdier for forskjellige varigheter vil imidlertid den kombinerte flommen få et gjentaksintervall som er større enn  $T$  år. For varigheter opp til 2-3 døgn vil denne feilen ikke bli stor, men for lengre varigheter må flomvolumet vurderes nøye. I slike tilfeller skal  $q_T$ -verdien for den kritiske flomvarigheten danne grunnlag for flomforløpet og må bli best mulig bestemt. Verdiene for øvrige varigheter kan være lavere enn tilsvarende  $q_T$ -verdier.

Flomforløpet beskrives av en vannføring for hvert tidsskritt, med den tidsopløsning som er valgt, se kapittel 4.1. Det bør bestemmes fra et modellhydrogram, basert på en eller flere av de største observerte flommene. Modellhydrogrammet oppskaleres som regel først til beregnet  $q_T$ -verdi for den kritiske flomvarigheten og tidsaksen justeres deretter slik at hele flomvolumet samsvarer med den tidligere beregnede verdi, se figur 5.6. Det må kontrolleres at flomvolumet for alle varigheter er rimelige.



Figur 5.6. Konstruksjon av flomforløp ved hjelp av modellhydrogram.

Flomforløpet kan også konstrueres manuelt, ved at vannføringer fordeles på hvert tidsskritt slik at totalvolumet stemmer overens med de forskjellige varighetene. I slike tilfeller anbefales det å legge kulminasjonsvannføringen etter ca. en tredel av den nødvendige flomvarigheten. Ved store magasin er det viktig at man benytter tilstrekkelig lang varighet, slik at avløpsflommen rekker å kulminere i løpet av tidsrommet som er valgt.

#### 5.4.2 Nedbør-avløpsmetoden

En alternativ metode for å beregne en tilløpsfloms størrelse og forløp, er å bruke en nedbør-avløpsmodell. Det er flere typer nedbør-avløpsmodeller som kan brukes. Uansett valg av nedbør-avløpsmodell bør så vidt mulig modellparametrene fastsettes ved kalibrering mot store flomepisoder. Blant de enklere modellene er enhetshydrogrammet og blant de mer kompliserte er begrepsmessige feltmodeller som HBV-modellen. En hydrologisk modell spesielt for flomberegninger er blitt utviklet ved Hydrologisk avdeling, NVE [18], og inngår i dataprogrammet PQRUT. Hensikten med utviklingen av denne flommodellen har vært å gi en best mulig dynamisk beskrivelse av flomforløpet uten at antall modellparametere blir altfor stort.

Hensikten med en nedbør-avløpsmodell er at et fastlagt nedbørforløp, og eventuelt snøsmelteforløp, skal omregnes til vannføring, dvs. flom i et gitt felt. Resultatet av denne modellsimuleringen vil da være en uregulert tilløpsflom til magasinet fra totalfeltet, en flom fra et restfelt nedenfor et oppstrøms magasin, eller en uregulert tilsigsflom i hele feltet. I prinsippet simuleres en flom,  $Q_T$ , på grunnlag av et nedbørforløp med  $T$  års gjentaksintervall,  $P_T$ , ved hjelp av en nedbør-avløpsmodell for feltet. Et problem ved slike beregninger er imidlertid at sannsynligheten til flommen ofte endres. Det er nemlig ikke sikkert at for eksempel  $P_{1000}$  gir  $Q_{1000}$ . Nedbøren kan for eksempel komme som snø, eller den kan komme på sterkt uttørket felt, som gir redusert avløp. På den andre siden kan den også tenkes å være kombinert med snøsmelting. Det er vanskelig å veie disse sannsynlighetene mot hverandre. Metoden egner seg best for relativt små felt der regnflommer er de kritiske.

Ved bruk av nedbør-avløpsmetoden for beregning av tilløpsflommer med gitte gjentaksintervall, må resultatet alltid vurderes mot flomstørrelser beregnet ut fra flomfrekvensmetoden, observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser. Det kan ofte være nødvendig å justere inngangsdata eller initialtilstander i nedbør-avløpsmodellen for å oppnå en rimelig overensstemmelse.

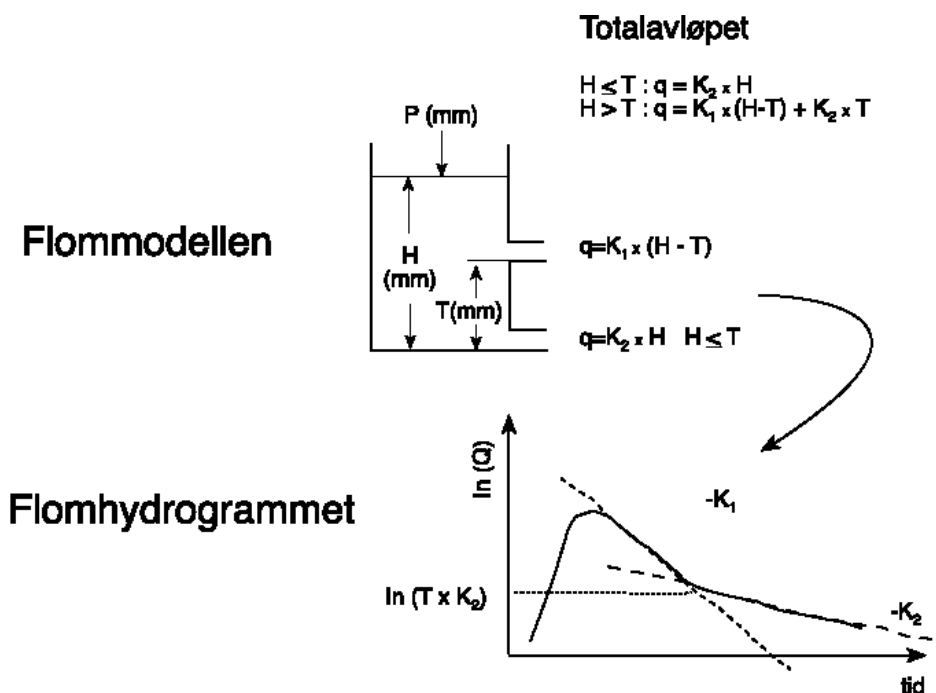
For beregning av påregnelig maksimal flom,  $Q_{PMF}$ , må nedbør-avløpsmetoden brukes. Da legges påregnelig maksimal nedbør, PMP, til grunn, vanligvis med et tillegg for snøsmelting.

### 5.4.2.1 Flommodellen

Flommodellen i PQRUT er i utgangspunktet et lineært kar, dvs. en forsinkelsesmekanisme der avløpet er proporsjonalt med innholdet. En slik modell gir eksponentielt avtagende avløp i nedbørfrie perioder. For å få en mer dynamisk reaksjon på store nedbørmengder er det imidlertid innført en "åpning i vegg" på karet, slik at reaksjonen blir sterkere når innholdet kommer over et visst nivå, se figur 5.7. Modellen får dermed følgende tre parametere:

- $K_1$ : tømmekonstant for øvre nivå [tid<sup>-1</sup>]
- $K_2$ : tømmekonstant for nedre nivå [tid<sup>-1</sup>]
- $T$ : skille mellom øvre og nedre nivå [mm]

Modellen har en snørutine tilsvarende den som finnes i HBV-modellen, og den kan derfor også simulere sammensatte regn- og smelteflommer. Videre har modellen en markvannsdell slik at ulike initialtilstander i feltet kan velges. Dette er nødvendig bl.a. ved simulering av hele vårfloforløp. Modellen er også utstyrt med en enkel rutingfunksjon som kan ta vare på forsinkelser i feltet. Dette betyr at flommodellen i praksis er nær identisk med HBV-modellen, men parameterestimeringen er forenklet.



Figur5.7. Skisse av flommodellen og et simulert flomforløp.

Modellparametrene beregnes fortrinnsvis ved kalibrering mot observerte flommer, eller, hvis kalibrering ikke er mulig, ut fra ligninger basert på feltparametere. Kalibrering forutsetter at det finnes nedbør- og avløpsdata med tilstrekkelig fin tidsoppløsning som er representative for feltet. Hvis det bare finnes nedbørstasjoner med manuelle observasjoner i rimelig nærhet av feltet, kan nedbørforløpene allikevel estimeres med finere tidsoppløsning ved hjelp av data fra en nedbørstasjon med kontinuerlige registreringer. Dataene fra hver stasjon summeres da fortløpende og de akkumulerte

døgnverdiene tilpasses deretter den ønskede tidsoppløsningen med samme relative fordeling i tid som dataene fra den kontinuerlig registrerende nedbørstasjonen. Det anbefales at parameterverdier beregnet ut fra ligningene blir brukt som første estimat ved kalibrering. Ligningene for modellparametrene, utledet i [18], er gitt i tabell 5.3. Se kapittel 4.2 for definisjon av parametrene som inngår i ligningene.

Tabell 5.3. Ligninger for modellparametrene. Prefixet ln angir at naturlig logaritme av parameteren benyttes.

$$\begin{aligned} K_1 &= 0,0135 + 0,00268 \cdot H_L - 0,01665 \cdot \ln A_{SE} \\ K_2 &= 0,009 + 0,21 \cdot K_1 - 0,00021 \cdot H_L \\ T &= -9,0 + 4,4 \cdot K_1^{-0,6} + 0,28 \cdot q_N \end{aligned}$$

Når effektiv sjøprosent er null, settes  $A_{SE} = 0,001$ .

Modellparametrene er sterkt avhengige av effektiv sjøprosent. Det er derfor svært viktig at man ikke tar med magasinenes arealer ved beregning av effektiv sjøprosent for feltet. Dette kan også gjelde for uregulerte innsjøer i hovedelven mellom magasin, eller mellom magasin og beregningspunkt, se kapittel 7.1.

Konsentrasjonstiden for feltet må oppgis i tidsskritt, se kapittel 5.3.

En viktig bemerkning vedrørende flommodellen er at det ved kalibrering kan brukes en nedbørkorreksjon for å få samsvar mellom nedbør- og avløpsvolumene under flommen. Ved selve flomsimuleringen skal korreksjonsfaktoren settes til 1 (ingen korreksjon), da de ekstreme nedbørverdiene vil være gitt som representative for feltet.

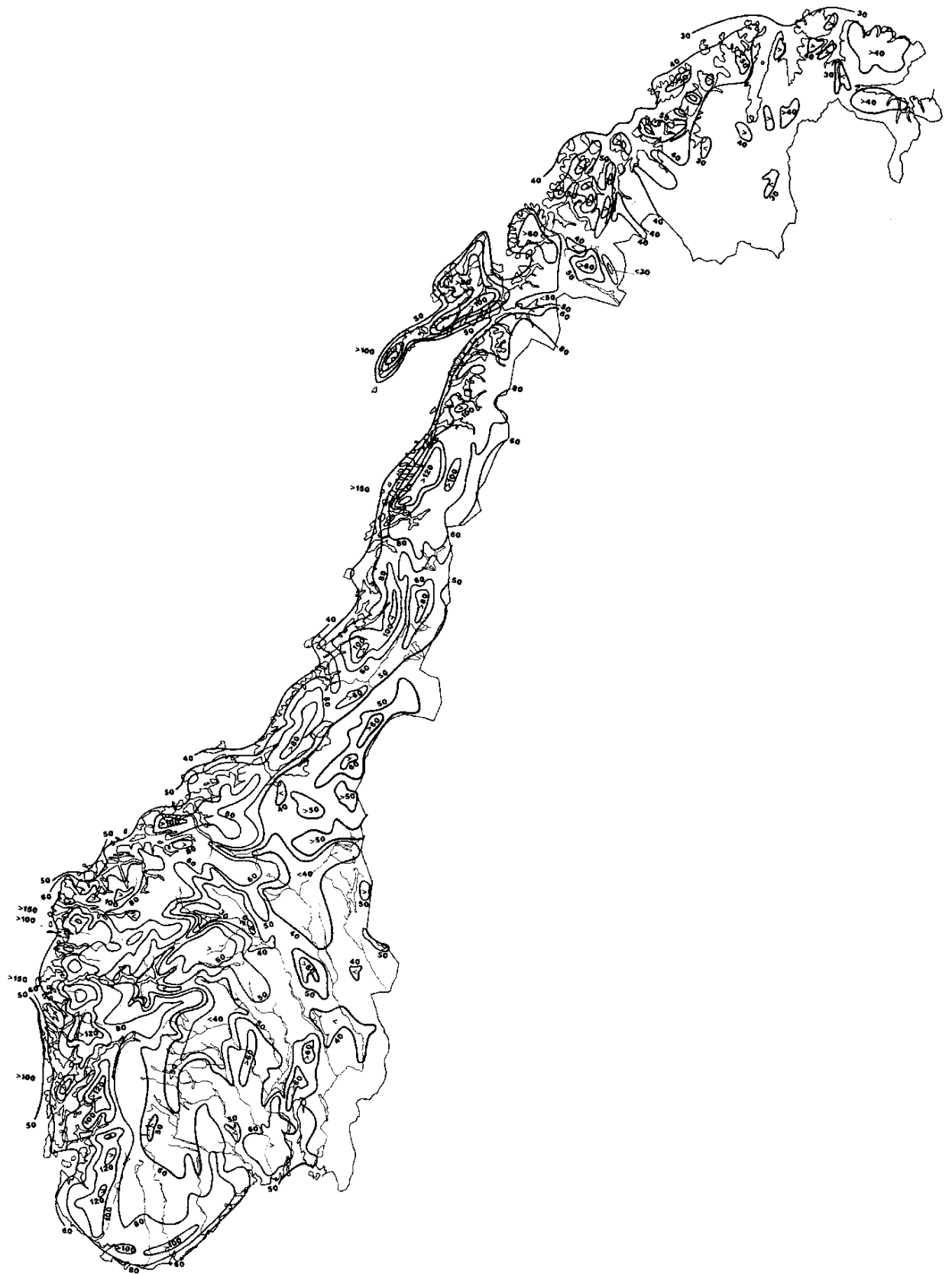
I [18] gis retningslinjer for beregning av parameterverdier og eksempler på bruk av modellen. Generelt anbefales det at flommodellen kalibreres mot observerte flommer, hvis datagrunnlag er tilgjengelig, og at ligningene i tabell 5.3 kun benyttes når kalibrering ikke er mulig.

#### 5.4.2.2 Beregning av ekstrem nedbør

Nedbørverdier med forskjellige gjentakintervall og påregnelig maksimal nedbør beregnes av Meteorologisk institutt eller en annen meteorologisk institusjon, som kan dokumentere en faglig god beregningsmetode. Hvis de beregnede ekstremnedbørverdiene virker urimelige, anbefales det å kontakte utførende institusjon.

Et kart over  $P_5$ -verdier, dvs. 24-timers nedbørverdier med gjentakintervall 5 år, er hentet fra [13], og vist i figur 5.8. De ekstreme nedbørverdiene beregnes for forskjellige varigheter og for forskjellige sesonger og hele året. Verdien for påregnelig maksimal nedbør (PMP) for året, som nesten alltid er større enn PMP-verdiene for sesongene, antas å opptre i den sesong som har størst PMP-verdi.

Beregnet nedbør er vanligvis en representativ punktverdi for feltet. Det betyr at det i en nedbørsituasjon vil falle mer nedbør enn punktverdien i deler av feltet og mindre i andre deler. Man kan ikke regne med at det i gjennomsnitt faller like mye nedbør, representert av beregnet punktverdi, over hele feltet samtidig. I meget små felt kan det være tilfelle, men med økende feltstørrelse reduseres arealnedbøren, dvs. den nedbør som faller i samme tidsintervall over hele feltet. Punktverdien må omregnes til arealverdi, dvs. justeres for "samtidighet", ved hjelp av de arealreduksjonsfaktorer som oppgis av Meteorologisk institutt. Reduksjonen skal utføres for alle varigheter, med større reduksjonsfaktor, dvs. mindre arealreduksjon, ved lengre varighet. Det benyttes samme arealreduksjonsfaktorer for nedbørsituasjoner med gitte gjentakintervall, og for påregnelig maksimal nedbør.



Figur 5.8.  $P_5$  (24 timer) -verdier for Norge for tidsrommet 1957-1990.



For større felt ( $> 1000 \text{ km}^2$ ) og for felt med god stasjonsdekning kan arealnedbøren beregnes direkte av Meteorologisk institutt, og man unngår bruken av arealreduksjonsfaktorer.

Ved flomberegning med nedbør-avløpsmetoden i sammensatte felt, er det viktig at de beregnede nedbørverdiene og arealreduksjonsfaktorene er representative for totalfeltet til hvert magasin/beregningspunkt, se kapittel 7.1.

#### 5.4.2.3 Kombinasjon nedbør, snøsmelting og markvannsunderskudd

Flommer med et gitt gjentakintervall vil være avhengig av en kombinasjon av nedbør med forskjellige gjentakintervall, eventuell snøsmelting/bresmelting og feltets tilstand, dvs. markvannsunderskudd eller metningsgrad.

Vurderingen av nedbørforløp, og eventuelt snøsmelteforløp, som inngangsdata til en nedbør-avløpsmodell foregår i flere trinn. Først og fremst må flomskapende sesong fastlegges og kritisk varighet på nedbørforløpet bestemmes ut fra egenskapene ved feltet og magasinet, se kapittel 5.2 og 5.3. Deretter må de valgte nedbørverdiene arealreduseres avhengig av varighet og feltareal, og fordeles i tid.

Normalt velges nedbøren i flomskapende sesong som grunnlag for beregning av tilløpsflom. I enkelte tilfeller er nedbørverdiene større i en annen sesong enn den som er definert som flomskapende. Det har oftest sammenheng med sannsynlig temperatur, snøsmeltebidrag eller markvannsunderskudd. I slike situasjoner må en vurdere spesielt nøye til hvilken tid av året en kan vente størst flom.

I de tilfeller hvor vinterverdiene er størst, men det vurderes som mest sannsynlig at nedbøren faller som snø over store deler av feltet, antas nedbøren ikke forårsake flom. Dette er først og fremst avhengig av feltets høydebeliggenhet.

Det vil alltid være vanskelig å kombinere nedbør og snøsmelting slik at resulterende flom får et riktig gjentakintervall. For eksempel kan  $Q_{1000}$  forårsakes av nedbør i sesongen med gjentakintervall 1000 år,  $P_{1000}$ , og liten snøsmelting, eller nedbør med mindre gjentakintervall og stor snøsmelting. Normalt må beregning av flommer opp til  $Q_{1000}$  baseres på flomfrekvensanalyser. Flommodellen kan benyttes først og fremst til å bestemme flomforløpet, ved at rimelige verdier for nedbør og snøsmelting kombineres slik at flomsimuleringen resulterer i flomstørrelser som overensstemmer med de som er funnet ved flomfrekvensanalyse.

Ved beregning av  $Q_{PMF}$  benyttes PMP-verdier for den aktuelle sesongen, kombinert med maksimalt beregnet snøsmelting under stor nedbør i samme sesong.

Hvis nedbør-avløpsmodell benyttes for beregning av flommer opp til  $Q_{1000}$ , anbefales følgende metodikk:

- Ved vårflokker og flommer i brefelt må alltid sesongnedbøren kombineres med snø-/bresmelting. For flommer i brefelt og for flommer som antas å komme sent på våren eller på sommeren, kan det regnes med et begrenset areal som bidrar med smeltevann.
- For flommer om høsten og vinteren skal en vurdere snøforholdene spesielt for å avgjøre om snøsmelting skal legges til ekstremnedbøren eller ikke (se avsnitt 5.4.2.4 om "Beregning av snøsmelting").

For flommer opp til  $Q_{1000}$  gjelder at ved beregning av  $Q_T$  benyttes  $P_T$ -verdier for den aktuelle sesongen, kombinert med 70 % av maksimalt beregnet snøsmelting under stor nedbør i samme sesong.

I beregninger for lavlandsfelt nær kysten og andre felt der store flommer kan opptre hele året anvendes årsverdiene av ekstrem nedbør uten snøsmelting hvis disse er større enn sesongverdiene av ekstrem nedbør tillagt aktuell snøsmelting.

I de tilfellene hvor sommernedbøren er størst, må man vurdere om den kan føre til flom. I små felt og høyfjellsfelt kan det være riktig å regne med sommerflom som den kritiske. I store felt er det derimot sjelden sommerflommene som er de kritiske på grunn av at markvannsunderskuddet oftest er stort. Det finnes imidlertid, som tidligere nevnt, flere eksempler på store sommerflommer forårsaket av langvarig nedbør.

Det benyttes normalt samme nedbør-/flomvarighet og samme arealreduksjonsfaktorer for flomsituasjoner med gitte gjentaksintervall og for påregnelig maksimal flom. Det kan imidlertid være tilfeller når forskjellig sesong skal legges til grunn for påregnelig maksimal flom og flommer med mindre gjentaksintervall. Det kan også være nødvendig å beregne  $Q_{PMF}$  for forskjellige sesonger for å finne hvilken kombinasjon av nedbør og snøsmelting som gir størst flom.

Normalt skal det regnes med mettet felt ved flomsimuleringen. For årsflommer og høstflommer, særlig i store felt og felt på Østlandet, i Trøndelag og Finnmark, kan det imidlertid føre til at flommene beregnes for store hvis man forutsetter mettet felt ved flomsimuleringen. Dette bekreftes av erfaring med flomberegninger i slike felt. Det kan tolkes som at i de nevnte landsdelene er terrenget slik at det også ved sterkt mettede markvannsforhold alltid finnes områder som ikke umiddelbart bidrar til flom. En flom med et gitt gjentaksintervall forårsakes heller ikke nødvendigvis av nedbør med det samme gjentaksintervallet og mettet felt. Spesielt i store felt kan man ikke regne med fullt markvannsmagasin over hele feltet.

I de fleste kystnære vassdrag i hele landet, i felt på Vestlandet og i Nordland, og i små felt ellers med tynt jordsmonn, vil det normalt være riktig å kombinere for eksempel  $P_{1000}$  og mettet felt ved simulering av  $Q_{1000}$ . For øvrige felt bør man regne med et markvannsunderskudd på 20-50 mm ved simulering av flommer opp til gjentaksintervall 1000 år. Dette gjelder også ved beregning av påregnelig maksimal flom, men da bør markvannsunderskuddet settes noe mindre.

#### 5.4.2.4 Beregning av snøsmelting

I mange tilfeller må det i tillegg til nedbør regnes med et bidrag fra snøsmelting. Når en utelater snøsmelting, skal dette begrunnes spesielt.

Snøsmeltingen ( $S$ ) kan beregnes ut fra en grad-dagsfaktor ( $C_S$ ) og et estimat av lufttemperaturen ( $T_L$ ):

$$S = C_S \cdot T_L \text{ [mm/døgn]}$$

Erfaringstallene for  $C_S$  (enhet: mm/°C pr. døgn) gitt i tabell 5.4 kan brukes dersom  $C_S$  ikke kan fastsettes ved kalibrering av nedbør-avløpsmodellen. Grad-dagsfaktoren er avhengig av hvilken type arealdekning som er dominerende i feltet.

Tabell 5.4 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

Ut fra observerte temperaturer under stor nedbør i den flomskapende sesongen ved nærliggende klimastasjoner, bestemmes en representativ temperatur for feltets medianhøyde. Omregningen fra klimastasjonens høyde til feltets medianhøyde baseres på at det i situasjoner med stor nedbør kan antas

at temperaturen avtar med 0,65 °C per 100 m høydeøkning. Ved lang flomvarighet må det kontrolleres at snømagasinet på aktuell tid av året kan være så stort at det er sannsynlig med snøsmeltebidrag under hele flomforløpet.

Et godt hjelpemiddel for å vurdere snøforholdene er de landsdekkende snøkartene som finnes på [www.senorge.no](http://www.senorge.no). Kartene er simulert ut fra daglige nedbør- og temperaturobservasjoner fra 1970 til i dag. Hvis snøkartene viser at det er minst 40 prosents sannsynlighet (4 av 10 år) for at det ligger snø i det aktuelle feltet i den flomskapende perioden, skal snøsmelting legges til ekstremnedbør for aktuell sesong.

Det anbefales også å benytte andre kilder for vurdering av snøforholdene. I for eksempel [12] gis oversikter over maksimale snødybder i cm i forskjellige måneder. I tillegg fins det observerte snødata både hos NVE og hos den enkelte regulant.

Et alternativ kan være å forutsette at hvis feltets månedsmiddeltemperatur (se henvisning i avsnitt 4.4.2) i minst en av månedene i den flomskapende perioden er under 0 °C regnes det med et snødekke som kan bidra til snøsmelting, mens hvis feltets månedsmiddeltemperaturer er over 0 °C regnes det som snøfritt.

Hvis bare deler av feltet antas å være snødekket, regnes det med et begrenset snøsmeltebidrag. Ved flommer i delvis bredekkede felt er det kanskje bare brearealene som bidrar med smeltevann. I felt med store høydeforskjeller må det vurderes om det er realistisk å regne med snødekke i hele feltet i den måneden man antar at flommen opptrer. Andre forhold som kan føre til redusert areal med snødekke må også vurderes. For eksempel vil snøsmelting på innsjøer ikke bidra til avrenning. Sjøarealer skal derfor utelates ved smelteberegningen.

For små felt og magasin med liten demping kan det være aktuelt å ta hensyn til temperaturens døgnvariasjon, når denne kan gi signifikante utslag i avløpsvariasjoner fra magasinet.

Temperaturverdier for beregning av snøsmelting kan bestilles fra Meteorologisk institutt. For Sør-Norge kan slike temperaturverdier estimeres fra kart gitt i [12].

#### 5.4.2.5 Nedbør-/snøsmelteforløp

Nedbøren og snøsmeltingen skal fordeles i tid med det tidsskritt som er valgt, se kapittel 4.1. Normalt benyttes de beregnede nedbørverdiene for alle varigheter og kombineres til et forløp. Egentlig er dette urealistisk, fordi nedbør med gitt gjentaksintervall, for eksempel 2 timer og 48 timer, sjelden opptrer i samme nedbørepisode. Men fordi nedbørforløpet skal danne grunnlag for en simulering av en tilløpsflom, som igjen skal danne grunnlag for en avløpsflom, er det viktig at nedbøren i magasinets kritiske varighet er tatt med. Dette er ivare tatt ved at alle beregnede nedbørverdier med gitt gjentaksintervall inngår i nedbørforløpet.

Det anbefales en tilnærmet symmetrisk fordeling omkring høyeste nedbørintensitet dersom kritisk varighet er mindre enn eller lik 2 døgn. Ved lengre varigheter anbefales det å fordele nedbøren slik at maksimal nedbør kommer etter ca. en tredel av den nødvendige nedbørvarigheten. I store felt, og der den kritiske varigheten er lang, kan det være riktig å ta utgangspunkt i en observert, stor nedbørsituasjon. Dette nedbørforløpet skaleres opp til den ekstreme nedbøren for kritisk varighet. Det må påses at de ekstreme nedbørverdiene for øvrige varigheter ikke overskrides.

Snøsmeltingen fordeles vanligvis jevnt under hele nedbørforløpet og regnes som et tillegg til nedbøren. For små felt kan det være aktuelt å regne med en døgnvariasjon i snøsmeltingen. Flommodellen har også en mulighet å simulere snøsmelting ut fra et temperaturforløp. Eventuell snøsmelting før eller etter nedbørepisoden beregnes med en redusert graddagsfaktor, se tabell 5.4.

#### 5.4.2.6 Simulering av flomforløp

Tilløpsflom simuleres ut fra det beregnede nedbør-/snøsmelteforløpet og de beregnede/kalibrerte modellparametrene, ved bruk av for eksempel dataprogrammet PQRUT. Initialvannføringen må oppgis og bør velges som middelvannføringen i den aktuelle sesongen. Eventuelt markvannsunderskudd oppgis som metningsgrad i prosent av feltkapasitet, som vanligvis er satt til 150 mm. For ytterligere informasjon vises til programbeskrivelsen for PQRUT, som kan fås fra Hydrologisk avdeling, NVE.

Ett-døgnsmidlet og eventuelt fler-døgnsmidler av den simulerte flommen beregnes og sammenlignes med hva som er anslått/beregnet ut fra flomfrekvensanalyser. Ved store avvik mellom resultater må beregningene vurderes grundig, og eventuelt modifiseres.

Hvis nedbør-avløpsmodell antas å fungere dårlig, og for eksempel beregning av  $Q_{1000}$  gir resultater som avviker stort fra resultater fra flomfrekvensanalyser, kan det være en mulighet å beregne  $Q_{PMF}$  ved skalering av  $Q_{1000}$ . Skaleringen av tilløpsflommen foregår da slik:

$$Q_{PMF} = ((PMP + S) / P_{1000}) \cdot Q_{1000}$$

Da  $Q_{PMF}$  beregnes med en metode, er en sammenligning av resultater fra forskjellige beregninger ikke mulig. Resultatene bør imidlertid alltid vurderes mot  $Q_{PMF}$ -verdier beregnet for andre felt i nærheten. En  $Q_{PMF}$ -verdi er videre vanligvis 1,5 - 3,0 ganger  $Q_{1000}$ -verdien for et felt.

En anerkjent metode for å vurdere rimeligheten av en  $Q_{PMF}$ -verdi forutsetter at en har observert flomdata for feltet eller et sammenlignbart felt. Metoden går ut på at middelflommen ( $Q_M$ ) og standardavviket hos flommene ( $S_Q$ ) beregnes. Deretter beregnes en frekvensfaktor F:

$$F = (Q_{PMF} - Q_M) / S_Q$$

Verdien på F ligger vanligvis i området 12-15.

## 6 Beregning av avløpsflom og flomvannstand

### 6.1 Generelt

Forutsetningene vedrørende reguleringsystemet er beskrevet i kapittel 3.2. Overføring inn i feltet skal normalt regnes for å være åpen, mens overføring ut av feltet regnes for å være lukket. Det er viktig å beregne overføringen riktig, se kapittel 4.5. Vannstanden ved flommens begynnelse skal være høyeste regulerte vannstand (HRV) eller normalvannstand i magasin dersom HRV ikke er definert, og dersom ikke annet er spesielt fastsatt. Ved manøvrerbare flomløp forutsettes det at de manøvreres slik at vannstanden ikke underskider HRV i flommens startfase. Det kan, ut fra lukeinstruks, tappestrategi eller lignende, regnes med en gradvis åpning av flomløp, som medfører vannstandsstigning over HRV allerede før tilløpsflommen overskider flomløpenes kapasitet.

### 6.2 Ruting gjennom ett magasin

Dersom magasinets flomdempende virkning er neglisjerbar, blir avløpsflommen lik tilløpsflommen. Dersom magasinets flomdempende virkning er av betydning, bestemmes avløpsflommen av tilløpsflommens størrelse og forløp, vannstanden i magasinet ved flommens begynnelse, magasinets areal og avløpsorganenes karakteristikk og manøvrering. Beregningen utføres ved ruting av

tilløpsflommen gjennom magasinet, og gir som resultat avløpsflommens kulminasjonsvannføring og kulminasjonsvannstanden i magasinet.

Magasinstørrelsen beskrives av magasinvolument angitt for to eller flere vannstander, fortrinnsvis HRV og en eller flere høyere vannstander. Avløpsorganenes karakteristikk beskrives vanligvis av en avløpskurve.

Tilløpsflommens forløp er oppgitt som vannføring for hvert tidsskritt. Ved rutingen beregnes magasinforandringen, resulterende vannstand og avløpsflommens størrelse for hvert tidsskritt.

Rutingen kan foretas ved hjelp av dataprogrammet PQRUT.

### 6.3 Ruting gjennom flere magasin

Hvis det er flere magasin i et vassdrag, er i prinsippet tilløpsflommen til et magasin lik tilløpsflommen fra lokalfeltet, tillagt avløpsflom fra oppstrøms magasin og eventuelle overføringer. Problemet ved sammensatte felt er å kombinere disse flommene på riktig måte, uten å forandre sannsynligheten på flommen, eller under- eller overestimere påregnelig maksimal flom. Dette problemet er særlig knyttet til bruken av arealreduksjonsfaktorene ved beregning av nedbør.

I felt med magasin av forskjellig størrelse og med forskjellig kritisk varighet vil det også være et problem å kombinere lokal tilløpsflom og avløpsflom fra oppstrøms magasin på en konsistent måte.

Flomberegning i felt med flere magasin er diskutert i kapittel 7.

## 7 Sammensatte felt

### 7.1 Generelt

Flomberegninger i sammensatte felt, dvs. felt med flere magasin, er betydelig mer kompliserte enn beregninger for ett enkelt magasin, og vil alltid medføre flere skjønnsmessige vurderinger. De øverste magasinene vil ikke by på spesielle problemer, men behandles som enkeltmagasin etter de retningslinjer som er gitt foran. Nedenforliggende magasin kan derimot kreve en mer omfattende behandling.

Hovedprinsippet ved beregning av ekstreme flommer i sammensatte felt, basert på enten flomfrekvensanalyser eller nedbør-avløpsmodeller, vil være at tilsigsflommen beregnes for totalfeltet til det aktuelle magasinet. Med tilsigsflom forstås at det ikke tas hensyn til flomdempning i noen av magasinene i feltet. Ved bruk av formelverk skal for eksempel ikke magasinenes areal regnes inn i effektiv sjøprosent. Den beregnede flommen for totalfeltet fordeles deretter på delfeltene, for eksempel etter midlere årsavløp eller relativt areal, og delflommene rutes gjennom magasinene nedover vassdraget til nederste magasin. Det regnes ikke med transporttider i vassdraget, siden det er inkludert i beregningen av tilsigsflommen. Disse beregningene gir aktuell tilløpsflom ( $Q_T$  eller  $Q_{PMF}$ ) bare for nederste magasin. Man må være oppmerksom på at dersom det nederste magasinet har lite lokalfelt og liten kritisk varighet (liten dempning) i forhold til oppstrøms magasin, kan det være avløpsflom med gitt gjentaksintervall fra magasinet ovenfor pluss et lite bidrag fra lokalfeltet som er kritisk.

Forutsetningene for ruting av flommen gjennom vassdraget vil vanligvis være de samme som for ett enkelt magasin, dvs. magasinenes startvannstander lik HRV, overføringer inn i totalfeltet åpne og overføringer ut av totalfeltet stengte. Man skal likevel være oppmerksom på at overføringer innen vassdraget kan bli vurdert forskjellig avhengig av hvilket magasin man betrakter. For ett magasin kan det være ugunstig at en overføring er åpen, mens det for et annet magasin kan være ugunstig at den

samme overføringen er stengt. Det samme gjelder kraftverk. Det skal forutsettes at kraftverket er ute av drift når man gjør beregning for inntaksmagasinet, men for nedenforliggende magasin kan det være ugunstigere at kraftverket forutsettes å være i drift. De forutsetninger som er de ugunstigste for det aktuelle magasinet skal legges til grunn for beregningene. Eventuelle avvik fra dette må avklares med NVE.

Et spesielt problem oppstår når det ligger en uregulert innsjø i elvestrekningen mellom magasin eller mellom et magasin og beregningspunktet. For å ta hensyn til flomdempningen i denne innsjøen, er det nødvendig å behandle den som et magasin, med de delberegninger som dette medfører. Avløpskurven for innsjøen kan beregnes på en forenklet måte, for eksempel ved bruk av Mannings formel eller overløpsformelen, avhengig av strømningsregime. For dette kreves kjennskap til topografien i utløpet og nedenforliggende elvestrekning.

Ved bruk av nedbør-avløpsmodeller kan man bestemme modeller for flere delfelt istedenfor å bestemme en modell for totalfeltet til det aktuelle magasinet. Flommene i delfeltene simuleres basert på nedbørverdier som er representative for totalfeltet og med arealreduksjonsfaktorer som gjelder for totalfeltet. Disse flommer representerer delfeltenes bidrag ved flommen i totalfeltet, og flomverdiene er noe mindre enn delfeltenes  $Q_T$ - og  $Q_{PMF}$ -verdier. Delflommene rutes gjennom magasinene nedover vassdraget til nederste magasin. I dette tilfelle må det tas hensyn til transporttider i vassdraget, dvs. det må vanligvis regnes med en tidsforsinkelse mellom flommene i de forskjellige delfeltene. Også disse beregningene gir aktuell tilløpsflom ( $Q_T$  eller  $Q_{PMF}$ ) bare for nederste magasin.

Problemene ved beregning for sammensatte felt med nedbør-avløpsmodell oppstår først og fremst når vi har magasin med svært forskjellig flomdempende effekt, dvs. forskjellig kritisk varighet  $V_M$ . Da vil det i utgangspunktet være forskjellige nedbørvarigheter og forskjellige arealreduksjonsfaktorer som er kritiske for de ulike magasinene. Det er for eksempel ofte små inntaksmagasin med betydelige lokalfelt nedenfor store hovedmagasin. For hovedmagasinet kan det være nedbør over flere døgn eller vårflommen som er kritisk, mens det for inntaksmagasinet alene kan være nedbør over noen få timer som er kritisk. Det vil ofte være urimelig å anta at disse situasjonene kan inntreffe samtidig.

I følgende situasjoner kan man fordele nedbøren jevnt over hele feltet:

- Når kritisk varighet for nederste magasin er av samme størrelse eller større enn for oppstrøms magasin. Vurdering av flomskapende sesong og valg av kritisk varighet baseres da på det nederste magasinet.
- Når kritisk varighet for nederste magasin er mindre enn for oppstrøms magasin, men lokalfeltet er lite, ca. 10 % av totalfeltet eller mindre. I slike tilfeller baseres vurdering av flomskapende sesong og kritisk varighet på oppstrøms magasin.
- Når kritisk varighet for nederste magasin er mindre enn for oppstrøms magasin, men lokalfeltet er stort, ca. 40 % av totalfeltet eller mer. Vurdering av flomskapende sesong og valg av kritisk varighet baseres da på det nederste magasinet.

I noen situasjoner kan imidlertid flom fra oppstrøms magasin bli så sterkt dempet at lokalfeltets flom blir dominerende selv om lokalfeltet utgjør en relativt liten del av totalfeltet. Man vil da redusere nedbøren for mye ved å benytte arealkorreksjon for hele feltet. Tilsvarende situasjoner kan også oppstå når lokalfeltet systematisk har mye større nedbør enn resten av feltet.

I slike tilfeller kan det istedenfor å fordele nedbøren jevnt over hele totalfeltet, være riktigere å legge hovedtyngden av nedbøren til lokalfeltet. Kritisk varighet defineres da av dette lokalfeltet.

Fremgangsmåten vil være:

- Nedbørens kritiske varighet settes lik summen av kritisk varighet for nederste magasin og konsentrasjonstid for lokalfeltet.
- Nedbøren for lokalfeltet skaleres med arealreduksjonsfaktorer for lokalfeltets areal. Samme nedbørforløp benyttes for resten av totalfeltet, men skaleringsfaktoren justeres til arealreduksjonsfaktoren for totalfeltet, på følgende måte:

Når indeks 1 betegner lokalfeltet, indeks 2 resten av totalfeltet og indeks t totalfeltet har man:

$$P_t \cdot A_t = (P_1 \cdot A_1) + (P_2 \cdot A_2)$$

der P betegner nedbørverdier og A feltarealer.

Dersom nedbørforholdene er noenlunde likeartede innen totalfeltet, kan man sette:

$$P_t = R_t \cdot P, \quad P_1 = R_1 \cdot P, \quad P_2 = R_2 \cdot P$$

der  $R_t$  og  $R_1$  er arealreduksjonsfaktorene for totalfeltet og lokalfeltet.

Skaleringsfaktoren for resten av totalfeltet blir dermed:

$$R_2 = ((R_t \cdot A_t) - (R_1 \cdot A_1)) / A_2$$

Ved store variasjoner i nedbørforholdene innen totalfeltet, bør man heller basere nedbørfordelingen på kartlegging av store nedbørsituasjoner eller nedbørfordelingskart, i samråd med Meteorologisk institutt.

Flom i begge delfelt simuleres ut fra arealreduisert nedbørforløp tillagt eventuell snøsmelting ved hjelp av nedbør-avløpsmodellen. Den videre framregning av avløpsflom og flomvannstand for nederste magasin blir som beskrevet tidligere.

I tvilstilfeller må man kontrollregne med nedbør fordelt jevnt over hele feltet.

I sammensatte felt hvor høydeforskjellene er store, kan det være aktuelt å regne med ulik snøsmelting i de forskjellige delfeltene.

Det er viktig at  $Q_T$  og  $Q_{PMF}$  for totalfeltet ikke bygges opp av  $Q_T$ - og  $Q_{PMF}$ -flommer for hvert enkelt delfelt, fordi dette vil gi en økende overestimering av  $Q_T$  og  $Q_{PMF}$  nedover vassdraget.

## 7.2 Store, sammensatte felt

Beregning av flommer opp til  $Q_{1000}$  for store felt ( $> 1000 \text{ km}^2$ ) skal baseres på flomfrekvensanalyser. Ved beregning av  $Q_{PMF}$  må en nedbør-avløpsmodell normalt benyttes.

Flommodellen, beskrevet i eget avsnitt i kapittel 5.4.2, kan være vanskelig å bruke i store felt, bl.a. fordi ligningene for modellparametrene, tabell 5.3, ikke er kontrollert for felt over ca.  $800 \text{ km}^2$ . Det kan da være nødvendig å dele opp feltet i flere delfelt, selv om de ikke er knyttet til regulerte magasin. Det vil allikevel være usikkerhet knyttet til hvordan flommene i delfeltene skal kombineres nedover vassdraget, slik at riktig gjentaksintervall opprettholdes. Forholdet mellom  $Q_{PMF}$  og  $Q_{1000}$  blir ofte større i store felt enn i små felt, fordi en flom med et gitt gjentaksintervall er en kombinasjon av mer eller mindre kritiske tilstander i de forskjellige delfeltene, mens påregnelig maksimal flom alltid er en kombinasjon av alle kritiske, men realistiske tilstander i alle delfelt.

For store felt kan nedbørforholdene være sterkt varierende, og nedbørfordelingen bør baseres på kartlegging av store historiske flomskapende episoder. I store felt er det også viktigere enn i mindre

felt å bestemme et realistisk nedbørforløp, dvs. ikke å kombinere for eksempel påregnelig maksimal nedbør med 2-6 timers varighet med samme nedbør med flere døgns varighet.

Det er særlig viktig å ta hensyn til forsinkelsen i vassdraget mellom magasinene eller delfeltene. Denne transporteffekten kan enten beskrives som en konstant tidsforsinkelse eller ved en rutingmetode som tar hensyn til at vannhastigheten endres og at vann magasineres i oversvømmelseområder i vassdraget. Av slike rutingmetoder er det vanlig å benytte såkalt "hydrologisk" ruting (Muskingums metode) eller hydraulisk ruting (dynamisk flombølge). Ofte vil bruk av en konstant tidsforsinkelse relatert til flom være tilstrekkelig, fordi magasineringseffekten i elvestrekningene vanligvis er begrenset ved de store flomvolumene det her er tale om. Slike tidsforsinkelser og Muskingum-ruting kan utføres ved hjelp av dataprogrammet PQRUT.

Beregningene foregår ved at man ruter tilløpsflommen gjennom øverste magasin, forskyver avløpsflommen med transporttiden i vassdraget til neste magasin, legger til lokal tilløpsflom (uten tidsforsinkelse) og eventuelle overføringer, og ruter den totale tilløpsflommen gjennom neste magasin. På samme måte rutes avløpsflommen videre nedover vassdraget til nederste magasin som det skal utføres beregninger for.

Et lite magasin langt oppe i vassdraget vil i mange tilfeller ha liten innflytelse på den totale flomdempingen. I slike tilfeller kan magasinets sjøareal regnes med ved beregning av feltets effektive sjøprosent. Flommen skal da ikke rutes gjennom dette magasin.

Det bør vurderes om det er riktig å forutsette at alle magasin ligger på HRV ved flommens begynnelse ved beregning av flom med gitt gjentaksintervall. En slik forutsetning kan føre til overestimering av tilløpsflommen til det nederste magasinet med det aktuelle gjentaksintervallet. Dersom det virker rimelig å avvike fra forutsetningen om at magasinenes initialvannstand skal være HRV, må initialvannstandene i de enkelte magasinene avklares med NVE.

I store felt anbefales det å benytte HBV-modellen framfor flommodellen i PQRUT. HBV-modellen gir vanligvis kun døgnlige verdier, men verdier med finere tidsopløsning kan i slike tilfeller anslås slik at døgnmidlet opprettholdes. I kulminasjonsdøgnet kan kulminasjonsvannføringen anslås ut fra metodikk beskrevet i avsnittet "Beregning av kulminasjonsvannføring" i kapittel 5.4.1.



# 8 Evaluering av flomberegninger

Resultatet av flomberegninger skal gjennomgå en evaluering av usikkerheter.

## 8.1 Sammenlikning med andre beregninger og observasjoner

Størrelsen av tilløpsflommen, beregnet som midlere spesifikk vannføring ( $q_T$ ) over de 24 timene med størst vannføring, kontrolleres mot erfaringstall fra tidligere utførte flomberegninger. Erfaringstall for  $q_{1000}$  er beskrevet i vedlegg 3. Hvis den beregnede tilløpsflommen fraviker vesentlig fra disse erfaringstall, bør flomberegningen vurderes kritisk og det endelige resultatet må begrunnes. Beregninger ved nedbør-avløpsmodeller skal alltid sammenlignes med flomstørrelser beregnet ut fra flomfrekvensanalyser. Også den kontrollen utføres for spesifikke flomverdier, fortrinnsvis 24-timersmidler.

Hvis forskjellige beregningsmetoder gir forskjellige resultater, må valget av den tilløpsflom som legges til grunn for avløpsflomberegning også begrunnes.

Beregnete dimensjonerende flommer bør sammenliknes med resultater fra andre relevante og tilgjengelige beregninger i vassdraget, for eksempel flomberegninger som er utført for flomsonekartlegging eller andre flomberegninger for dammer. Rapporter fra flomberegninger for flomsonekartlegging er tilgjengelige på [www.nve.no](http://www.nve.no). Flomberegninger for dammer skal normalt ikke gi lavere verdier enn flomberegninger for flomsonekartlegging dersom det er benyttet samme datagrunnlag, da forutsetningene er mer konservative ved beregninger for dammer enn for flomsonekartlegging. Det kan aksepteres mindre forskjeller i resultater, men det må da gis en forklaring på avvikene.

Beregnete dimensjonerende avløpsflommer eller andre avløpsflommer i  $m^3/s$  ( $Q_T$ ) skal sammenlignes med observerte flomverdier, hvis slike finnes i vassdraget. Størrelsen av  $Q_T$  bør stå i rimelig samsvar med observerte flommer. Eventuelt kan en flomfrekvensanalyse på observerte flommer benyttes for en slik kontroll. I noen tilfeller kan beregnede flomstørrelser ha vært overskredet i observasjonsperioden.

Beregnete dimensjonerende flomvannstander, eller andre flomvannstander, i m eller moh. skal sammenlignes med observerte flomverdier, som ofte finnes i magasin. Beregnet  $H_T$  (magasinvannstand med gjentakintervall  $T$  år) bør stå i rimelig samsvar med observerte flomvannstander. I noen tilfeller kan beregnede flomstørrelser ha vært overskredet i observasjonsperioden.

Ved sammenlikning med observerte flommer/vannstander, må det tas høyde for at det kan være usikkerhet og feil i de observerte verdiene, eller at observerte verdier refererer til et annet høydegrunnlag. Ved mistanke om feil eller usikkerheter kan man få nyttig informasjon om datakvaliteten ved å kontakte regulanten og/eller sjekke stasjonsopplysninger i NVEs database. Merk for øvrig at flomberegningsrapporter skal inkludere en presentasjon av observerte flommer i vassdraget som er brukt til sammenlikning.

I sammensatte felt skal det være et samsvar mellom tilløpsflommene til de forskjellige magasinene. Særlig hvis man baserer beregningen for hvert sted i vassdraget på flomfrekvensanalyser, må man kontrollere at flommene i lokalfeltene mellom beregningsstedene er av rimelig størrelsesorden. Ved slik kontroll benyttes spesifikke 24-timersmidler, eventuelt midler over lengre varighet.

## 8.2 Klassifisering av usikkerhet

Usikkerheten ved en flomberegning er vanskelig å kvantifisere. Kvaliteten ved en flomberegning skal derfor klassifiseres etter den skala som er nevnt i tabell 8.1. Klassifiseringen skal ikke tolkes som et mål på kompetansen til den som utfører flomberegningen, eller på nøyaktigheten ved utførelsen. Klassifiseringen skal knyttes til det tilgjengelige hydrologiske datagrunnlaget og hvordan det er benyttet i flomberegningen. Godkjent fagansvarlig i fagområde IV skal, så langt det er mulig, undersøke kvaliteten på de hydrologiske data som er benyttet. En beskrivelse av datakvaliteten skal inngå i flomberegningsrapporten og danne grunnlag for klassifisering av usikkerhet. Klassifiseringen skal være en støtte for NVE ved den videre vurderingen av eventuelle tiltak ved dammen eller i vassdraget. Det kan være aktuelt å klassifisere beregningen for forskjellige steder i vassdraget individuelt.

Tabell 8.1 Klassifisering av flomberegning.

Klasse	Klassifiseringskriterier
1	Godt hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i vassdraget.
2	Brukbart hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget.
3	Brukbart hydrologisk datagrunnlag, men store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området.
4	Begrenset hydrologisk datagrunnlag.
5	Begrenset hydrologisk datagrunnlag og store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området.

## 8.3 Følsomhetsanalyser

Ved beregning av avløpsflommer og flomvannstander kan det i mange tilfeller være nyttig å gjøre en følsomhetsanalyse. En følsomhetsanalyse er spesielt viktig å gjøre når datagrunnlaget for flomberegningen er usikkert og det er nødvendig å legge til en sikkerhetsmargin ved dimensjonering og kontroll av dam og flomløp, jf. damsikkerhetsforskriften § 5-4, eller for vurdering av klimaendringer. En slik analyse kan utføres ved at tilløpsflommen skaleres opp og ned med for eksempel 10 %, og så beregne hva det gir for utslag på avløpsflom og flomvannstand. Resultatene fra følsomhetsanalysen har spesielt stor betydning for dammer som er sårbare for mulige endringer i flomvannstander eller avløpsflommer, for eksempel fyllingsdammer med lukket flomløp eller dammer med lite fribord.

Følsomhetsanalyse kan også benyttes for å vurdere om det er behov for innhenting av mer eller bedre data som grunnlag for hydrauliske beregninger, eller om det er behov for modellforsøk eller prøvetapping for å bestemme avløpskapasiteter. En slik følsomhetsanalyse kan gjøres ved for eksempel å endre på effektiv overløpslengde, variere tunneltverrsnitt dersom tverrsnittsdata ikke er oppmålt osv. Også da beregnes utslaget på avløpsflom og flomvannstand.

## 8.4 Klimaendringer

Vurderinger av hvordan klimaendringer vil påvirke damsikkerheten i Norge, behov for FoU-virksomhet, analyser mv er gitt i [19]. Det pågår forskning om hvordan klimaendringer vil påvirke beregnede dimensjonerende flommer, og NVE har estimert forventet endring i 200-års og 1000-års flom mot slutten av dette århundret basert på tilgjengelige klimafremskrivninger og kalibrerte HBV-modeller [21]. Generelt er det forventet at flommer som forårsakes av regn kommer til å øke mens snøsmelteflommer i de større vassdragene vil avta. Ekstremnedbøren er forventet å øke i hele landet. Dette vil spesielt gjøre små bratte vassdrag og urbane områder mer utsatt for flom. Basert på dette vil forventede klimaendringer gi forskjellige utslag for damsikkerheten avhengig av regionale forskjeller, feltstørrelse og høydefordeling, eller hvor robuste dammene og flomløpene er. De hydrologiske fremskrivningene har blitt brukt til å dele Norge inn i områder hvor en økning i flomstørrelse er forventet på grunn av økt nedbør, og vassdrag hvor ingen endring eller en reduksjon er forventet. For å vurdere mulige effekter av klimaendring er tre inndelinger benyttet: 0 % endring, 20 % økning og 40 % økning. Detaljene for det enkelte vassdrag finnes i [21].

Dammer tilhører en kategori infrastruktur som har lang levetid. Ved revurdering av anleggene bør man derfor gjøre analyser for å sikre at eventuelle tiltak er klimarobuste. Dette er spesielt viktig der det er snakk om store investeringer for å oppgradere dammer til dagens sikkerhetsnivå. En måte å håndtere klimaendringer på er å gjøre følsomhetsanalyser av resultater fra flomberegninger, jf. kapittel 8.3, basert på forventet økning for området som er gitt i [21].

# 9 Dokumentasjon og godkjenning av flomberegninger

NVE skal kontrollere og godkjenne alle flomberegninger som er knyttet til dimensjonering og revurdering av dammer i klasse 1, 2, 3 og 4. Slike flomberegninger skal dokumenteres i en rapport med nødvendige opplysninger for NVEs kontroll og godkjenning. Rapporten skal alltid inneholde:

- Dokumentasjon av at det er brukt godkjent fagansvarlig i fagområde IV (flomhydrologi) samt fagområde V (hydraulikk) der det er nødvendig, jf. kapittel 1.
- Kartoversikt over aktuelt område med beskrivelse av reguleringsystemet.
- Hoveddata for dammer, flomløp og overføringer inkludert konsekvensklasser for dammene.
- Opplysninger om feltarealer, magasinarealer ved HRV, alle feltparametere som inngår i formler og verdier av modellparametere.
- Ekstreme nedbørdata fra met.no eller annen meteorologisk institusjon med dokumentert faglig god beregningsmetodikk, og beregnet snøsmelting (når nedbør-avløpsmodell er benyttet).
- Avløpskurver og overføringskapasiteter med dokumentasjon av beregningsmetoder og valg av parametere, eventuelt referanse til hydrauliske modellforsøk eller prøvetapping, samt henvisning til gyldige tegninger (se under).
- Beskrivelse av benyttet metodikk for beregning av tilløpsflommer.
- Tilløpsflommenes størrelse, beregnet som 24-timersmiddel for største vannføring i l/s pr. km<sup>2</sup>.
- Forutsetninger vedrørende reguleringsystemet ved beregning av tilløps- og avløpsflommer, inkludert vurderinger og valg av tilstopningsgrad. For dammer med flomluker skal det også foreligge alternative beregninger med forutsetning om manøvreringssvikt.
- Beregnede forløp i tallverdier av ev. nedbør/ snøsmelting, tilløpsflom, ev. overføringer, avløpsflom og flomvannstand, med tilstrekkelig stor tidsopløsning (minst 4-6 verdier i

døgnet avhengig av total flomvarighet). I sammensatte felt skal sammenhørende tallverdier oppgis både for aktuelt lokalfelt og oppstrøms felt.

- Begrunnelser av valg som foretas mellom alternative verdier.
- Observerte flomvannstander og flomvannføringer i aktuelle magasin/vassdrag, og en vurdering av disse i forhold til beregnede ekstremverdier.
- Tidligere beregnede flomvannstander og flomvannføringer i vassdraget, med henvisning til de aktuelle flomberegningsrapportene.
- Klassifisering av flomberegningen med kommentar om kvaliteten av datagrunnlaget.
- Eventuell følsomhetsanalyse basert på usikkert datagrunnlag og/eller forventede klimaendringer.
- Målsatte og oppdaterte tegninger av viktige konstruksjoner og vannveier for kontroll av kapasiteter til flomløp, tappearrangementer og overføringer. Benyttet høydegrunnlag, og eventuell sammenheng mellom lokalt og nasjonalt høydegrunnlag, må oppgis.

Rapporten sendes med følgebrev til Konesjonsavdelingen, NVE. Elektroniske dokumenter kan sendes til [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no). NVE ser gjerne at større rapporter også sendes som papirutgave (2 eksemplarer), og at alle rapporter/oversendelsesbrev merkes tydelig med navn på anleggseier, anlegg/dam og vassdrag.

Den praktiske kontrollen av flomberegningen gjennomføres av Konesjonsavdelingen, seksjon for damsikkerhet og Hydrologisk avdeling, seksjon for vannbalanse. Hydrologisk avdeling kontrollerer de hydrologiske beregningene. Det legges vekt på at beregningen er utført etter gjeldende retningslinjer og at riktige forutsetninger er lagt til grunn for beregningen. Rimeligheten av beregnede flomstørrelser vurderes. De rent numeriske beregningene kontrolleres ikke. Konesjonsavdelingen kontrollerer kapasitetskurver, opplysninger og forutsetninger vedrørende reguleringssystemet, med dammer, flomløp og overføringer.

I damsikkerhetsforskriften § 7-5 stilles det krav om at det gjøres nye flomberegninger dersom tidligere godkjente flomberegninger er basert på beregning av tilløpsflom som er eldre enn 15 eller 20 år avhengig av dammens klasse. Godkjenningen av en flomberegning gjelder derfor normalt i 15 år for dammer i klasse 2, 3 og 4 og 20 år for dammer i klasse 1.

En flomberegning er basert på den kunnskap man har om de hydrologiske forholdene og reguleringssystemet når flomberegningen blir utført. Grunnen til at beregning av tilløpsflommer skal gjøres på nytt ved jevne mellomrom, er at datagrunnlaget stadig forbedres etter hvert som observasjonsperiodene ved målestasjonene øker. Det kan også være avdekket feil eller usikkerheter i datagrunnlaget i den tidligere godkjente flomberegningen, for eksempel ved at vannføringskurven ved viktige målestasjoner er forbedret, det er observert vannstander over dimensjonerende flomvannstand eller at det er brukt feil data for flomløpet. Forandringer i reguleringssystemet vil påvirke avløpsforholdene nedover vassdraget. Dersom det avdekkes endringer i datagrunnlaget som forventes å få stor innvirkning på flomberegningene, kan det være nødvendig å revidere flomberegningene tidligere enn damsikkerhetsforskriften angir. Omklassifisering av dammer, som innebærer krav til nye flomverdier, kan også utløse behov for ny flomberegning. I tillegg kan klimautviklingen føre til at nedbør- og temperaturforholdene blir forandret og derved også de uregulerte tilløpsflommene. Det vil si at sannsynligheten for å overskride en gitt vannføring vil kunne endres.

Når en dam skal revurderes eller når andre forhold tilsier det, skal den tidligere godkjente flomberegningen kontrolleres om den fortsatt kan anses å være gyldig. Dersom flomberegningen skal benyttes videre, for eksempel som grunnlag for revurdering, skal det dokumenteres at de uregulerte tilløpsflommene ikke er forandret og at eventuelle forandringer i reguleringssystemet ikke har påvirket flomforholdene. Kontroll av tidligere godkjent flomberegning skal gjøres av en godkjent fagansvarlig og dokumenteres i en rapport som sendes NVE til informasjon. En slik gjennomgang endrer ikke på det generelle kravet om nye beregninger etter 15/20 år.

# Referanser

- [1] OED, 2009: *Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg*. Gyldig fra 01.01.2010.
- [2] NVE, 2006: *Små dammer. Veileder for planlegging, bygging og vedlikehold*. Veileder nr. 2-2006.
- [3] NVE, 2002: *Avrenningskart for Norge 1961-90*.
- [4] NVE, 1999: *Hydrologiske data i Norge, bind 1-3*. Rapport nr. 9/99.
- [5] NVE, 2004: *Aktive vannføringsstasjoner i Norge*. Rapport nr. 16/04.
- [6] NVE, 2005: *Vannføringsstasjoner i Midt- og Nord-Norge*. Oppdragsrapport A nr. 18/05.
- [7] NVE, 2006: *Vassføringsstasjonar på Vestlandet*. Oppdragsrapport A nr. 17/06.
- [8] NVE, 2007: *Vannføringsstasjoner på Østlandet og Sørlandet*. Oppdragsrapport A nr. 2/07.
- [9] MI, 1993: *Kart over normal årsnedbør 1961-90*.
- [10] MI, 1993: *Nedbørnormaler*. Rapport nr. 39/93. KLIMA.
- [11] MI, 1993: *Temperaturnormaler*. Rapport nr. 2/93. KLIMA.
- [12] MI, 1997: *Temperatur og snødata for flomberegning*. Rapport nr. 28/97. KLIMA.
- [13] MI, 1992: *Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier*. Rapport nr. 21/92. KLIMA.
- [14] NVE, 2005: *Retningslinjer for flomløp til § 4-6 og § 4-13 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg*.
- [15] NVE, 2009: *Flomforhold i Sør- og Midt-Norge*. Rapport nr. 3/09.
- [16] NVE, 2009: *Flomforhold i Nord-Norge*. Rapport nr. 11/09.
- [17] NVE, 1997: *Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag*. Rapport nr. 14/97.
- [18] NVE, 1983: *Hydrologisk modell for flomberegninger*. Rapport nr. 2/83.
- [19] NVE, 2010: *Klimatilpasning innen NVEs ansvarsområder. Strategi 2010 – 2014*. Rapport nr. 15/10.
- [20] NVE, 2010: *Vassdragshåndboka*.
- [21] NVE, 2011: *Hydrological projections for floods in Norway under a future climate*. NVE Report No. 5-11.

# Vedlegg 1

## Aktuelle dataprogrammer ved Hydrologisk avdeling

Beskrivelser av programmene kan fås fra Hydrologisk avdeling.

<b>HYSOPP</b>	Opplysninger om hydrometriske stasjoner, vannføringskurver, feltparametere, magasintabeller, høyde på skala m.m.
<b>TABLEREPORT</b>	Oversikt over dataserier (serielengde, hull m.m.) som oppfyller valgte kriterier (NVEs tjenesteområder, vassdragsområder, dataparametere m.m.).
<b>DAGUT</b>	Vannstander og vannføringer fra døgndatabasen, med mulighet for diverse statistiske beregninger, og for å lage arbeidsserier.
<b>FINUT</b>	Vannstander og vannføringer med fin tidsoppløsning.
<b>MAXMIN</b>	Oversikt over største observerte vannstand eller vannføring i året eller i sesonger.
<b>FLROSE</b>	Flomvannføringer plottet i forhold til størrelse og årstid.
<b>VFTAB</b>	Tabeller og figurer over vannføringskurver for hydrometriske stasjoner. I tillegg mulighet for oversikt over vannføringsmålinger som ligger til grunn for aktuell kurve.
<b>OVERLOP</b>	Beregning av tabeller for vannføring over ulike typer og sammensetninger av overløp.
<b>VFKURVE</b>	Beregning av vannføringskurve basert på sammenhørende vannstands- og vannføringsverdier.
<b>EKSTREM</b>	Flomfrekvensanalyser.
<b>REGSIN</b>	Regionale flomfrekvensanalyser.
<b>REGRESS</b>	Regresjonsanalyser.
<b>PQRUT</b>	Simulering av tilløpsflommer. Kobling av serier. Beregning av avløpsflommer og flomvannstander.
<b>CHECK_HOMOGENITY</b>	Sjekk om vannføringsserier er homogene. For eksempel kan årsmaksima homogenitetssjekkes.
<b>HULL</b>	Kontrollprogram som finner hull i døgnsier.

# Vedlegg 2A

## Observerte forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom, vår og høst.

Verdiene er basert på analyser utført pr 1997.

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. Sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> Vår	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> Høst
212	10	Masi	5693	0,20	1,01	1,03
122	2	Haga bru	3062	0,04	1,23	1,41
16	10	Ommesfoss	810	1,31	1,24	1,41
121	9	Næverdalen	792	0,10	1,15	1,29
122	11	Eggafoss	653	0,20	1,11	1,33
73	1	Lo bru	557	1,73	1,12	1,16
83	2	Viksvatn	505	3,45	1,01	1,02
124	2	Høggås bru	491	2,40	1,17	1,52
2	303	Dombås	490	0,09	1,22	
2	13	Sjodalsvatn	474	2,00	1,02	1,03
109	12	Bruøy	473	0,09	1,15	1,11
2	279	Kråkfoss	418	0,65	1,14	1,24
103	1	Storhølen	416	0,19	1,14	1,24
103	3	Stuguflåten	414	0,26	1,17	1,29
209	4	Lillefossen	324	2,21	1,16	1,25
209	3	Kvænangselv bru	309	3,24	1,16	1,15
12	178	Eggedal	304	0,84	1,11	1,22
3	22	Høgfoss	297	0,65		1,19
208	2	Oksfjordvatn	266	2,12	1,07	1,06
2	280	Kringlerdal	262	1,05	1,09	1,22
2	291	Tora	260	0,46	1,29	
2	290	Brustuen	251	0,54	1,10	1,10
241	1	Bergeby	239	0,91	1,21	
138	1	Øyungen	238	1,20	1,10	1,25
2	275	Liavatn	235	1,50	1,14	1,22
50	1	Hølen	229	3,87	1,09	1,28
133	7	Krinsvatn	205	1,18	1,11	1,32
206	3	Manndalen bru	199	0,00	1,19	
8	2	Bjørnegårdsvingen	193	0,05	1,33	1,62
22	22	Søgne	192	0,07	1,20	1,28
2	292	Skjøli	182	0,36	1,16	
22	16	Myglevatn ndf.	180	1,91	1,05	1,04

Målestasjon		Areal km <sup>2</sup>	Eff. Sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> Vår	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> Høst	
210	1	Øvrefoss	169	0,99	1,10	1,16
62	10	Myrkdalsvatn	157	1,35	1,07	1,16
111	9	Søya	137	0,10	1,37	
41	1	Stordalsvatn	127	6,32	1,08	1,11
213	4	Kvalsund	122	0,99	1,07	1,03
2	11	Narsjø	119	1,51	1,07	1,09
16	104	Kilen	119	0,80	1,42	1,59
48	5	Reinsnosvatn	119	2,74	1,06	1,07
16	75	Tannsvatn	116	5,21	1,03	1,07
19	76	Tovsliøytjønn	115	3,10	1,05	1,12
167	2	Sørfjordvatn	111	6,01	1,05	1,15
15	53	Borgåi	101	0,31	1,24	1,39
111	8	Nerdal	99,3	8,10	1,10	1,11
124	10	Mannseter	95,3	0,13	1,30	1,80
203	1	Jægervatn	93,6	7,89	1,03	1,05
97	1	Fetvatn	88,4	1,16	1,24	1,57
12	192	Sundbyfoss	79,9	0,34	1,15	1,49
12	171	Hølervatn	79,0	2,39	1,05	1,06
2	289	Høydalsvatn	77,6	4,06	1,09	
26	20	Årdal	76,0	2,39	1,22	1,24
168	1	Storvatn	70,6	8,26	1,05	1,07
163	6	Jordbrufjell	69,2	1,48	1,09	1,24
76	5	Nigardsjøen	66,0	0,69	1,11	1,16
307	14	Saksvatn	64,1	2,89	1,06	1,11
19	73	Kilåi bru	63,2	2,72	1,09	1,19
307	7	Landbru limn.	59,8	7,70	1,06	1,12
15	49	Halledalsvatn	58,0	3,81	1,05	1,02
86	4	Gjengedalsvatn	55,7	6,96	1,10	1,26
2	287	Rotua	55,7	0,92	1,28	1,61
2	288	Harasjøen	55,7	3,60	1,06	1,08
55	4	Røykenes	50,0	4,05	1,23	1,41
12	193	Fiskum	49,9	0,28	1,15	1,32
153	1	Storvatn	48,9	7,65	1,10	1,18
12	13	Rysna	48,5	0,06	1,28	1,58
75	28	Feigumfoss	48,2	1,22	1,08	1,22
2	616	Sagstua	47,0	1,04	1,13	1,10
234	14	Cærrogæsajokka	45,6	0,21	1,25	1,26
36	9	Middal	44,9	0,12	1,18	1,60
103	20	Morstøl bru	44,2	0,30	1,20	1,39
47	7	Fodnastøl	41,5	3,39	1,05	1,12



Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. Sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> Vår	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> Høst
16	122	Grovåi	41,0	0,20	1,34	1,62
2	323	Fura	39,9	0,00	1,44	2,46
163	7	Kjemåvatn	35,6	7,23	1,05	1,06
16	108	Gjevarvatn	34,4	5,01	1,07	1,08
234	4	Smalfjord	31,0	6,16	1,08	
26	26	Jogla	30,7	0,03	1,34	2,54
42	2	Djupevad	30,3	0,65	1,80	2,33
26	21	Sandvatn	27,9	2,56	1,12	1,20
12	150	Buvatn	25,0	5,78	1,02	1,03
74	16	Langedalen	23,8	0,54	1,53	1,67
107	3	Farstad	23,7	2,50	1,28	1,35
42	6	Bakkelihøl	19,8	0,08	1,51	1,73
230	1	Nordmannset	19,6	3,83	1,43	
172	7	Leirpoldvatn	18,9	4,50	1,47	1,49
19	80	Stigvassåi	16,1	0,22	1,35	1,59
70	7	Tistel	15,6	0,00	1,48	1,96
86	7	Bortne	15,4	0,00	1,62	2,10
97	4	Skjåstad	9,68	0,00	1,27	1,73
19	82	Rauåna	8,60	0,00	1,58	2,07
6	10	Gryta	7,63	0,49	1,20	1,42
81	1	Hersvikvatn	7,04	14,00		1,05
11	4	Elgtjern	6,80	4,50	1,12	1,20
16	66	Grosettjern	6,51	2,70	1,17	1,18
19	79	Gravå	6,30	0,03	1,38	1,66
150	1	Sørra	6,00	0,00	1,75	2,02
12	188	Langtjernbekk	4,86	5,97	1,04	1,09
68	1	Kløvtveitvatn	4,29	21,30	1,04	1,04
55	5	Dyrdalsvatn	3,18	4,24	1,39	1,85
39	1	Tysvær	2,96	18,62	1,11	1,14
19	89	Skornetten	2,60	0,00	1,58	2,07
27	14	Saglandsvatn	1,72	22,10	1,11	1,09
19	91	Åbogtjønn ndf.	1,19	4,00	1,24	1,56
19	96	Storgama ovf.	0,64	5,48	1,65	1,68
20	11	Tveitdalen	0,41	0,00	2,00	2,91

## Vedlegg 2B

# Observerte forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom, årsflommer.

Verdiene er basert på analyser pr 2010.

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjøpr. %	Q <sub>mon</sub> /Q <sub>døgn</sub> År
2	1	Hådammen	38,9	0,81	1,16
2	11	Narsjø	119	1,64	1,05
2	32	Atnasjø	463	1,09	1,05
2	119	Elverum	15449	0,09	1,03
2	268	Akslen	795	0,09	1,28
2	269	Hummelvoll	2427	0,83	1,07
2	279	Kråkfoss	433	0,41	1,21
2	280	Kringlerdal	265	1,06	1,15
2	291	Tora	263	0,39	1,16
2	323	Fura	45,2	0,00	1,95
2	416	Vågåvatn	3416	0,62	1,04
2	439	Kvarstadseter	377	0,04	1,10
2	451	Nordre Osa	450	0,03	1,12
2	479	Li bru	157	0,01	1,37
2	604	Elverum	15449	0,09	1,03
2	614	Rosten	1828	0,02	1,11
2	633	Stortorp	85,5	0,48	1,08
3	22	Høgfoss	299	0,54	1,36
6	10	Gryta	7,05	0,37	1,43
8	2	Bjørnegårdssvingen	190	0,02	1,53
8	6	Sæternbekken	6,33	0,01	2,41
12	15	Strøstmøa	4634	1,07	1,01
12	70	Etna	570	0,30	1,08

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> År
12	97	Bergheim	4244	0,15	1,07
12	171	Hølervatn	79,4	2,24	1,08
12	178	Eggedal	309	0,57	1,13
12	192	Sundbyfoss	74,3	0,38	1,46
12	193	Fiskum	51,9	0,09	1,26
12	215	Storeskar	120	0,32	1,24
12	228	Kistefoss	3703	3,84	1,03
12	290	Bagn	2980	0,65	1,04
12	297	Hvalskvern	63,5	0,12	1,24
15	21	Jondalselv	128	0,24	1,31
15	23	Bruhaug	3465	1,05	1,10
15	61	Holmsfoss	5204	0,47	1,04
15	74	Skorge	59,7	0,12	1,26
16	10	Omnesfoss	807	0,21	1,32
16	23	Kirkevoll bru	3844	2,25	1,09
16	66	Grosettjern	6,48	3,06	1,12
16	122	Grovåi	42,7	0,27	1,40
16	128	Austbygdåi	344	0,12	1,23
16	132	Gjuvå	33,1	1,88	1,39
16	133	Skotfoss	10384	0,84	1,14
16	140	Kvenna	822	0,98	1,08
16	154	Brusetbekken	7,54	0,80	1,48
16	193	Hørte	156	0,27	1,66
16	194	Kilen	118	0,85	1,45
18	10	Gjerstad	236	0,14	1,26
18	11	Tjellingtjørnbekk	2,16	1,21	2,00
19	78	Grytå	18,7	7,29	1,52
19	80	Stigvassåi	14,0	0,23	1,71
19	89	Skornetten	2,62	0,00	2,03

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> År
19	96	Storgama	0,52	4,02	1,74
19	107	Lilleelv	39,2	1,60	1,13
20	2	Austenå	276	1,61	1,25
20	3	Flaksvatn	1777	0,56	1,05
20	11	Tveitdalen	0,44	0,00	2,69
21	11	Heisel	3689	0,60	1,12
22	4	Kjølemo	1758	0,44	1,05
22	16	Myglevatn	180	1,70	1,06
22	22	Søgne	206	0,05	1,16
24	8	Møska	121	1,47	1,10
24	9	Tingvatn	272	2,99	1,08
25	7	Refsti	202	1,88	1,11
26	25	Regevik	1128	0,99	1,51
26	26	Jogla	31,1	0,08	2,25
26	29	Refsvatn	53,0	1,00	1,43
26	64	Rekedalselv	10,1	1,51	1,62
27	16	Bjordal	124	0,25	1,58
27	24	Helleland	186	0,88	1,39
27	25	Gjedlakteiv	645	0,69	1,07
28	7	Haugland	140	0,37	1,39
35	16	Djupadalsvatn	45,4	3,54	1,16
36	34	Prestvika	2,80	0,00	1,69
41	1	Stordalsvatn	129	6,38	1,07
42	2	Djupevad	31,9	0,34	1,97
46	9	Fønnerdalsvatn	7,01	2,19	1,58
48	1	Sandvenvatn	468	1,20	1,23
50	1	Hølen	232	2,00	1,15
55	4	Røykenes	49,9	2,24	1,35
55	5	Dyrdalsvatn	3,24	3,90	1,88

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> År
62	5	Bulken	1094	0,89	1,06
62	10	Myrkdalsvatn	159	1,18	1,13
62	15	Kinne	512	0,04	1,36
62	18	Svartavatn	72,1	0,08	1,76
72	5	Brekke bru	267	0,81	1,17
72	18	Svartavatn	19,4	17,67	1,76
73	2	Stuvane	993	0,16	1,17
73	27	Sula	30,4	3,73	1,16
74	1	Årdalsvatn	979	1,46	1,12
74	15	Utla	440	0,02	1,34
75	23	Krokenelv	46,2	0,05	1,59
76	5	Nigardsbrevatn	65,3	0,78	1,18
77	3	Sogndalsvatn	110	2,24	1,35
78	8	Bøyumselv	40,4	0,16	1,54
82	4	Nautsundvatn	219	2,66	1,28
83	2	Viksvatn	507	3,49	1,02
83	12	Haukedalsvatn ndf.	204	5,25	1,08
84	11	Hovefoss	235	0,42	1,58
85	3	Svartebotten	4,38	34,83	1,52
86	12	Skjerdalselv	23,7	1,07	1,58
87	3	Teita bru	219	0,09	1,48
97	1	Fetvatn	89,1	1,52	1,56
98	4	Øye ndf.	139	0,26	1,46
103	1	Storhølen	437	0,16	1,17
103	20	Morstøl bru	44,8	0,14	1,54
103	40	Horgheim	1099	0,07	1,11
104	23	Vistdal	66,4	0,14	1,82
109	42	Elverhøy Bru	2442	0,07	1,17
109	9	Risefoss	744	0,01	1,21

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> År
111	5	Talgøyfoss	150	0,27	1,41
111	9	Søya	138	0,02	1,71
112	8	Rinna	91,1	0,59	1,50
114	1	Myra	16,5	0,01	1,88
117	4	Valen	39,3	5,52	1,07
121	22	Syrstad	2278	0,05	1,19
122	9	Gaulfoss	3079	0,01	1,31
122	11	Eggafoss	653	0,14	1,15
122	17	Hugdalen Bru	546	0,01	1,41
123	20	Rathe	3058	2,33	1,09
123	28	Hokfossen	8,35	1,20	1,45
123	29	Svarttjørbekken	3,04	1,11	1,73
123	30	Øvre Hestsjøbekk	1,93	0,00	1,77
123	31	Kjelstad	142	0,10	1,49
124	2	Høggås Bru	495	2,38	1,29
124	12	Hegra Bru	1871	0,27	1,26
124	15	Børstad	47,8	0,16	1,60
126	2	Engstad	20,0	0,00	1,74
127	4	Veravatn	175	3,71	1,04
127	6	Grunnfoss	871	0,29	1,29
127	11	Veravatn	175	3,71	1,04
127	13	Dillfoss	480	0,19	1,42
128	8	Håkkadalbrua	2141	4,04	1,14
133	7	Krinsvatn	207	1,00	1,20
138	1	Øyungen	244	1,35	1,15
139	15	Bjørnstad	1036	2,78	1,23
139	17	Bertnem	5163	0,33	1,21
139	35	Trangen	854	2,05	1,21
140	2	Salsvatn	432	10,6	1,03

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> År
142	1	Første Aunvatn	88,1	1,63	1,37
144	1	Åbjørvatn	390	1,47	1,22
148	2	Mevatnet	109	3,82	1,06
149	1	Møllehusfoss	95,2	0,61	1,74
150	1	Sørra	6,60	0,00	1,85
151	11	Lavvatn	73,7	1,42	1,62
151	15	Nervoll	653	0,17	1,12
151	21	Joibakken	2621	0,23	1,08
151	28	Laksfors	3651	0,15	1,14
152	4	Fustvatn	526	2,74	1,03
153	1	Storvatn	48,1	8,09	1,13
156	10	Berget	211	0,79	1,22
156	27	Leiråga	44,1	0,12	1,55
157	3	Vassvatn	16,6	4,86	1,34
159	5	Strømdalen	22,2	0,20	1,81
160	7	Skauvoll	19,8	1,52	1,31
161	18	Selfoss bru	786	0,01	1,34
162	3	Skarsvatn	146	0,50	1,12
163	5	Junkerdalselv	419	0,02	1,26
163	7	Kjemåvatn	36,7	7,05	1,05
165	6	Strandå	23,9	2,08	1,24
166	1	Lakshola	230	1,75	1,17
166	13	Vallvatn	53,0	2,70	1,15
168	2	Mørsvik bru	31,3	4,28	1,17
168	3	Lakså bru	26,7	7,35	1,64
172	7	Leirpoldvatn	18,8	4,37	1,48
174	3	Øvstevatn	28,4	0,90	1,23
174	11	Taraldsvikelv	2,80	0,00	1,72
177	4	Sneisvatn	29,6	2,23	1,31

Målestasjon			Areal km <sup>2</sup>	Eff. sjøpr. %	Q <sub>mom</sub> /Q <sub>døgn</sub> År
178	1	Langvatn	18,5	6,16	1,17
180	1	Grønlivatn	7,41	0,61	1,60
189	3	Tennevikvatn	85,5	2,80	1,04
191	2	Øvrevatn	526	0,60	1,14
196	35	Malangsfoss	3239	0,25	1,06
200	4	Skogsfjordvatn	135	10,12	1,07
203	2	Jægervatn	92,5	7,87	1,03
206	3	Manndalen bru	200	0,03	1,22
208	2	Oksfjordvatn	266	2,14	1,06
208	3	Svartfossberget	1929	0,04	1,11
212	10	Masi	5626	0,32	1,01
212	48	Sagafoss	234	0,14	1,12
212	49	Halsnes	145	0,90	1,08
213	2	Leirbotnvatn	135	1,09	1,08
213	4	Kvalsund	125	0,89	1,09
223	2	Lombola	878	0,11	1,07
234	18	Polmak nye	14157	0,02	1,08
234	13	Vækkava	2078	0,85	1,02
247	3	Karpelva	138	0,37	1,12
308	1	Lenglingen	450	4,12	1,02
311	6	Nybergsund	4420	2,40	1,03
311	460	Engeren	395	2,97	1,01



# Vedlegg 3

## Erfaringstall fra flomberegninger

Resultater fra flomberegninger som er utført ved NVE siden 1985 er studert. Døgnmiddelverdier for flommer med gjentaksintervall 1000 år er samlet og danner grunnlag for en vurdering av hvilke flomstørrelser man stort sett kan vente i de forskjellige landsdelene. Datagrunnlaget for denne vurdering er relativt godt i Sør-Norge, mens det er noe begrenset i Trøndelag og særlig i Nord-Norge.

### **Døgnmiddelverdier for $q_{1000}$ i små felt, < 50 km<sup>2</sup>.**

På Østlandet, vassdrag som drenerer til Sverige og vassdragsområdene 001 tom. 016, ligger flomverdiene stort sett mellom 600 - 1200 l/s pr. km<sup>2</sup>. De største verdiene er i meget små felt, hvor de i noen tilfeller kan være opp mot 1500 l/s pr. km<sup>2</sup>, eller i felt langt vest i området.

På Sørlandet og Vestlandet, vassdragsområdene 017 tom. 115, ligger flomverdiene stort sett mellom 1500 - 3000 l/s pr. km<sup>2</sup>, med de største verdiene, over 2000 l/s pr. km<sup>2</sup>, i felt et stykke innenfor kysten på Sørvestlandet og Vestlandet. I felt helt mot kysten er verdiene oftest i underkant av 2000 l/s pr. km<sup>2</sup>, og i de østligste områdene rundt og noen ganger under 1500 l/s pr. km<sup>2</sup>.

I Trøndelag, vassdragsområdene 116 tom. 143, ligger flomverdiene stort sett mellom 850 – 2000 l/s pr. km<sup>2</sup>, med avtagende størrelser østover.

### **Døgnmiddelverdier for $q_{1000}$ i middels store felt, 50 - 500 km<sup>2</sup>.**

På Østlandet ligger flomverdiene stort sett mellom 350 - 1100 l/s pr. km<sup>2</sup>, under 500 l/s pr. km<sup>2</sup> lengst øst og over 1000 l/s pr. km<sup>2</sup> aller lengst vest i området.

På Sørlandet og Vestlandet ligger flomverdiene stort sett mellom 700 - 2500 l/s pr. km<sup>2</sup>, med de største verdiene, over 2000 l/s pr. km<sup>2</sup>, i felt et stykke innenfor kysten på Sørvestlandet og Vestlandet, og de minste, under 1000 l/s pr. km<sup>2</sup>, i indre strøk på Sørlandet.

I Trøndelag ligger flomverdiene stort sett mellom 600 - 1800 l/s pr. km<sup>2</sup>, med avtagende størrelser østover.

### **Døgnmiddelverdier for $q_{1000}$ i store felt, > 500 km<sup>2</sup>.**

I enkelte felt på Vestlandet kan flomverdiene være større enn 1000 l/s pr. km<sup>2</sup>, ellers varierer de ned til under 300 l/s pr. km<sup>2</sup> i meget store felt, større enn 6000 km<sup>2</sup>, og i Glomma kanskje under 200 l/s pr. km<sup>2</sup>. I Gaula i Sør-Trøndelag, et vassdrag med liten naturlig flomdempning, er flomverdiene på 850 - 750 l/s pr. km<sup>2</sup> for felt mellom 2500 - 3500 km<sup>2</sup>. I Namsen ligger flomverdiene noe lavere, 800 – 600 l/s pr. km<sup>2</sup>.

### **Døgnmiddelverdier for $q_{1000}$ i Nord-Norge.**

I Nord-Norge, vassdragsområdene 144 tom. 247, varierer flomverdiene stort, særlig fra Nordlands- og Tromskysten til Finnmark. I Nordland og Troms finnes eksempler på flomverdier på over 2000 l/s pr. km<sup>2</sup> i kystnære felt på opp mot 100 km<sup>2</sup>. I indre strøk av Nordland og Troms er flomverdiene under 1000 l/s pr. km<sup>2</sup> og ned mot 700 l/s pr. km<sup>2</sup>. I Finnmark er flomverdiene stort sett under 1000 l/s pr. km<sup>2</sup>. De største verdiene er på Finnmarkskysten, mens på Finnmarksvidda kan de være på ned mot 500 l/s pr. km<sup>2</sup>, og i de store vassdragene ned mot 300 l/s pr. km<sup>2</sup>.

# Vedlegg 4

## Benyttede parametere

### Vannføring

Q	absolutt flomverdi	[m <sup>3</sup> /s]
q	spesifikk flomverdi	[l/s pr. km <sup>2</sup> ]
q <sub>N</sub>	midlere spesifikt årsavløp	[ l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>mom</sub>	momentanflom	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>døgn</sub>	døgnmiddelflom	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>M</sub>	middelflom	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>T</sub>	flom med gjentakintervall T år	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>500</sub>	flom med gjentakintervall 500 år	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>1000</sub>	flom med gjentakintervall 1000 år	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>PMF</sub>	påregnelig maksimal flom	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>d</sub>	middelflom med varighet d dager	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>Td</sub>	middelflom med varighet d dager og gjentakintervall T år	[m <sup>3</sup> /s] eller [l/s pr. km <sup>2</sup> ]
Q <sub>i</sub>	tilløpsflom over gitt varighet	[m <sup>3</sup> /s]

### Nedbør

P <sub>N</sub>	midlere årsnedbør	[mm]
P <sub>T</sub>	nedbør med gjentakintervall T år	[mm]
P <sub>5</sub>	nedbør med gjentakintervall 5 år	[mm]
P <sub>500</sub>	nedbør med gjentakintervall 500 år	[mm]
P <sub>1000</sub>	nedbør med gjentakintervall 1000 år	[mm]
PMP	påregnelig maksimal nedbør	[mm]

(i rapporter har met.no også benyttet M istedenfor P)

### Feltparametere

A	nedbørfeltets areal	[km <sup>2</sup> ]
A <sub>i</sub>	nedbørfeltets areal til innsjøen i	[km <sup>2</sup> ]
a <sub>i</sub>	innsjøen i's overflateareal	[km <sup>2</sup> ]
A <sub>M</sub>	magasinets overflateareal ved HRV	[km <sup>2</sup> ]
A <sub>SE</sub>	effektiv sjøprosent	[%]
A <sub>SF</sub>	snaufjellprosent	[%]
L <sub>F</sub>	feltaksens lengde	[km]
L <sub>e</sub>	hovedelvas lengde forlenget til vannskillet	[km]
S <sub>T</sub>	hovedelvas gradient	[m/km]
H <sub>L</sub>	relieff-forhold	[m/km]
H <sub>50</sub>	høydeforskjell mellom 25- og 75- % passasjen på feltets hypsografiske kurve	[m]
h'	total høydeforskjell langs hovedelva	[m]

### Øvrige parametre

$V_M$	kritisk flomvarighet for magasinet	[timer]
$V_F$	feltets konsentrasjonstid	[timer]
$C$	overløpskoeffisient	[-]
$L$	overløpslengde ved fast overløp	[m]
$K_1$	tømmekonstant for øvre nivå i NVEs flommodell	[tid <sup>-1</sup> ]
$K_2$	tømmekonstant for nedre nivå i NVEs flommodell	[tid <sup>-1</sup> ]
$T$	skille mellom øvre og nedre nivå i NVEs flommodell	[mm]
$H$	nivå i NVEs flommodell	[mm]
$S$	snøsmelting	[mm/døgn]
$C_S$	grad-dagsfaktor ved snøsmelting	[mm/ °C pr. døgn]
$T_L$	gjennomsnittlig lufttemperatur i døgnet	[°C ]

# Vedlegg 5

## Oversikt over aktuelle internettadresser

**[www.nve.no](http://www.nve.no)**

**[www.SeNorge.no](http://www.SeNorge.no)**

**[Atlas.nve.no](http://Atlas.nve.no)**

**[www.yr.no](http://www.yr.no)** (blant annet temperaturnormaler)

# Vedlegg 6

## Bruk av tilsigsdata

Det skilles vanligvis mellom tilløpsflom og tilsigsflom. Tilløpsflom er flom til magasin, innsjø eller sted i vassdraget hvor selvreguleringen i alle oppstrøms magasin/innsjøer og nedbør på magasin/innsjø er medregnet. Tilsigsflom er flom hvor magasinert vannvolum i oppstrøms magasin er beregnet og tillagt flommen. I tillegg skal eventuelle overføringer til/fra feltet trekkes fra/legges til flommen. Tilsigsflommen må derfor rutes gjennom alle oppstrøms magasin for å finne tilløpsflommen til nederste magasin. Tilløpsflommen er altså den flommen som faktisk kommer til magasinet, mens tilsigsflommen er den teoretiske flommen som kunne kommet til magasinet hvis ikke vann hadde blitt magasinert oppstrøms. Tilsvarende tilsigsberegning kan utføres for en innsjø i et uregulert felt hvis målestasjonen står i innsjøen. Målestasjonen fungerer da både som avløpsstasjon og magasinvanmerke. Tilsigsberegningen resulterer da i tilløpsflom til innsjøen.

Det advares mot ukritisk bruk av beregnede tilsigsdata, da ekstremverdier i slike dataserier er forholdsvis unøyaktige. I mange tilfeller er heller ikke magasinobservasjonene daglige, slik at vannstandsdata er interpolerte mellom observasjonene. Hyppigheten av magasinobservasjoner, særlig i flomperioder, bør derfor alltid kontrolleres.

Tilsigsdata, parameter 1050, i NVEs hydrologiske database er som regel beregnet med sentrerte differanser (endringer over to tidsskritt) og kan derfor bare benyttes for flomberegninger over lang varighet. I noen tilfeller er tilsigsdataene, parameter 1050, de samme som avløpsdataene, parameter 1001, og i enkelte tilfeller er usentrerte differanser benyttet. Tilsigsdata fra databasen må derfor alltid kontrolleres for hvordan de er beregnet, før de benyttes i en flomberegning.

Generelt gjelder at tilsigsdata midlet over 3-4 døgn eller lengre varigheter er mer pålitelige enn tilsigsdata midlet over 1-2 døgn, fordi unøyaktigheter i beregnet magasinivolum avtar med økende varighet.

Observerte avløpsdata og beregnede tilsigsdata kan ikke uten videre kombineres til lengre dataserier, fordi den naturlige selvreguleringen i en innsjø, som senere er blitt regulert, elimineres i tilsigsberegningen. Hvis vannføringskurven og innsjøens areal før reguleringen er kjent, kan enten den naturlige vannføringen i den regulerte perioden eller tilsiget i den uregulerte perioden beregnes. Serier som framkommer på denne måten, enten naturlig vannføring eller tilsig i hele perioden, er homogene og bedre å bruke enn serier satt sammen av avløpsdata i uregulert periode og tilsigsdata i regulert periode.



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

## **Utgitt i Retningslinjeserien i 2011**

- Nr. 1 Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter (63 s.)
- Nr. 2 Flaum- og skredfare i arealplanar ( 80 s.)
- Nr. 3 Retningslinjer for murdammer (15 s.)
- Nr. 4 Retningslinjer for flomberegning (59 s.)









Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

