

Veileder for flomberegninger

*Per Alve Glad, Seija Stenius, Ann-Live Øye Leine, Thomas Væringstad,
Erik Holmqvist, Mads-Peter Jakob Dahl, Elise Trondsen*



NVE Veileder nr. 1/2022

Veileder for flomberegninger

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør: Seija Stenius, Ann-Live Øye Leine, Ina Cecilie Storteig
Forfatter: Per Alve Glad, Seija Stenius, Ann-Live Øye Leine, Thomas Væringstad, Erik Holmqvist, Mads-Peter Jakob Dahl og Elise Trondsen
Forsidefoto: Flom i Storelva 12. juni 2021, E6 bru, Kvæningen. Foto: Turid Haugen/NVE

ISBN: 978-82-410-2182-4
ISSN: 1501-0678
Saksnummer: 202202981
Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 130

Sammendrag: Denne veilederen gir anbefalinger innen flomberegninger i Norge. Målet er å gi et rammeverk som sikrer konsistente og robuste estimater av flomvannføringer for ulike formål. Veilederen vil bidra til å sikre at flomestimatene er tilpasset formålet og mest mulig uavhengig av den som utfører beregningen. Anbefalingene og metodene er oppdatert i henhold til resultater fra relevant FoU-arbeid de siste årene. Målgruppen for veilederen er først og fremst fagkyndige personer med erfaring innen flomberegninger. Veilederen egner seg også som en innføring i praktisk gjennomføring av en flomberegning.

Emneord: Flomberegninger, dimensjonerende flom, påregnelig maksimal flom, flomfrekvensanalyser, nedbør-avløpsmetoder

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Februar 2022

1 Innhold

1	Innledning	5
1.1	Oppbygging av veilederen	6
1.2	Endringer ift. tidligere veiledere og retningslinjer	6
2	Flomberegninger i Norge	8
2.1	Hvordan skapes flommer i Norge?	8
2.2	Hva er et gjentakintervall?	9
2.2.1	Gjentaksintervaller og observasjoner	9
2.2.2	Gjentaksintervaller for dimensjonering	9
2.3	Metoder for flomberegning	11
2.4	Betydning av flomforhold i flomberegninger	12
2.5	Feltegenskaper	12
2.5.1	Feltparametre	13
2.5.2	Klimaparametre	14
2.6	Regulerte vassdrag	15
2.6.1	Flomberegninger for damsikkerhet	15
2.6.2	Kraftverk og overføringer	15
2.7	Anbefalt kompetanse	16
3	Datagrunnlag	17
3.1	Hydrologiske data	17
3.1.1	Vannstand og vannføring	17
3.1.2	Kvalitetskontroll av hydrologiske data	19
3.1.3	Tilsigsdata	20
3.1.4	Konstruerte vannføringsserier	22
3.1.5	Vurdering av representativ målestasjon for umålte felt	23
3.2	Meteorologiske data	24
3.2.1	Beregning og bestilling av ekstremnedbør og PMP	25
3.2.2	Konvertering fra punkt- til arealnedbør (ARF)	25
3.2.3	Temperatur (for bruk til snøsmelting)	25
3.3	Snø	26
4	Beregning av flomstørrelse	27
4.1	Valg av beregningsmetode	27
4.2	Flomfrekvensanalyser	28
4.2.1	Lokal flomfrekvensanalyse	29
4.2.2	Historisk flom-informasjon	31
4.2.3	Formelverk (regional flomfrekvensanalyse)	32
4.2.4	Lokal + regional flomfrekvensanalyse	32
4.2.5	Forholdstall mellom kulminasjon og døgnmiddelflom	33
4.2.6	Anbefalt arbeidsgang for flomfrekvensanalyser	34
4.2.7	Flomforløp	37
4.3	Nedbør-avløpsmetoder	41
4.3.1	Ulike nedbør- avløpsmodeller	42
4.3.2	Forløp i nedbør-avløpsmodeller	47
4.3.3	Arbeidsgang for nedbør-avløpsmetoder	51

4.4	Påregnelig maksimal flom (PMF)	52
5	Ruting - beregning av avløpsflom og vannstand	54
5.1	Når er det nødvendig med ruting?	54
5.2	Beregningsforutsetninger ved ruting	54
5.3	Ruting gjennom flere magasin	55
6	Komplekse felt.....	57
6.1	Sammensatte nedbørfelt.....	57
6.1.1	Store, sammensatte felt	59
6.2	Samløpsproblematikk.....	60
6.2.1	Samløp – hovedelv og sideelv	60
6.2.2	Samløp - jevnbyrdige sideelver	60
6.2.3	Samløp - elver av ulik karakter	60
6.2.4	Utløp i innsjø	61
7	Evaluerer av resultater og vurdering av usikkerhet	62
7.1	Vurdering av det hydrologiske datagrunnlaget	63
7.1.1	Støtte til klassifiseringen	64
7.1.2	Klassifisering ved bruk av nedbør-avløpsmodeller	65
7.2	Sammenligning med andre flomberegninger og observasjoner i området	65
7.3	Erfaringstall	66
7.3.1	Erfaringstall - døgnverdier	66
7.3.2	Erfaringstall - kulminasjonsverdier i små felt	67
7.4	Følsomhetsanalyser	69
8	Klimapåslag for flom.....	71
8.1	Anbefalt klimapåslag.....	71
8.2	Klimapåslag for små nedbørfelt	72
9	Referanser	73
1	Vedlegg.....	77
1.1	Vedlegg: Ordliste og definisjoner.....	78
1.2	Vedlegg: Feltegenskaper – feltparametre og klimaparametre	83
1.3	Vedlegg: NVEs database og analyseprogramvare – Hydra II	87
1.4	Vedlegg: Kontroll av hydrologiske data ved Hydrologisk avdeling i NVE89	
1.5	Vedlegg: Arkivene «Virtuelt isreduerte findata» og «Findata med fjerning av isreduerte dager».....	91
1.6	Vedlegg: PQRUT	92
1.7	Vedlegg: Den rasjonelle metode	98
1.8	Vedlegg: Trinnvis arbeidsgang	101
1.9	Vedlegg: Arbeidsgang for ekstremnedbør i flomberegninger.....	109
1.10	Vedlegg: Arbeidsgang for beregning av tilløpsflom i PQRUT	115
1.11	Vedlegg: Regneeksempel: Små nedbørfelt – Lundebekken	117
1.12	Vedlegg: Regneeksempel: Regulert nedbørfelt	127

Forord

Denne NVE-veilederen, *Veileder for flomberegninger* (1/2022), gir anbefalinger om hvordan flomberegninger utføres. For å bedre samkjøre NVEs veiledning på fagfeltet uavhengig av hva flomberegningene skal brukes til, erstatter vi her den flomfaglige delen i *Retningslinjer for flomberegninger* (4/2011) og *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* (7/2015). Utdypende bestemmelser om sikkerhet ved vassdragsanlegg erstattes av *Flomberegninger for dammer - veileder til damsikkerhetsforskriften* (2/2022).

Parallelt med utarbeidelsen av denne veilederen, har det pågått et arbeid med ny veileder om flomfareutredning for forebygging av flomskader i reguleringsplan og byggesaker (3/2022). NVE har også startet et arbeid med å koordinere og harmonisere egen forvaltningspraksis innen temaet flomberegninger, slik at vi i fremtiden får best mulig samsvar mellom flomberegninger til forskjellige formål.

Metoder for flomberegninger er under kontinuerlig utvikling. Metodene som anbefales i denne veilederen er velprøvde og mye benyttet. Samtidig er anbefalingene og metodene oppdatert i henhold til resultater fra relevant FoU-arbeid de siste årene.

Takk for alle nyttige innspill vi har fått gjennom eksterne og interne høringsrunder. Dette har vært til stor hjelp i veilederarbeidet.

Oslo, februar 2022

Hege Hisdal
direktør
Hydrologisk avdeling (H)

Elise Tronsen
seksjonsleder
Seksjon for vannbalanse

Dokumentet sendes uten underskrift. Det er godkjent i henhold til interne rutiner.

1 Innledning

I denne veilederen gir NVE anbefalinger innen flomberegninger i Norge. Målet er å gi et rammeverk som sikrer konsistente og robuste estimater av flomvannføringer, og at beregningene oppfyller kravene som gjelder for ulike formål. Videre vil veilederen bidra til å sikre at resultatene er mest mulig uavhengig av den utførende og at usikkerheten i flomestimatene vurderes.

Metodene som anbefales er velprøvde og mye benyttet innen flomhydrologi. Samtidig er anbefalingene og metodene oppdatert i henhold til resultater fra de siste årene innen relevant FoU arbeid. Det legges vekt på å ta utgangspunkt i det best tilgjengelige datagrunnlaget som kan fremskaffes. Deretter vises det til hensiktsmessige metoder og det gis konkrete anbefalinger ut fra de dataene som er tilgjengelige. Det er lagt vekt på at metodene er veldokumenterte, at usikkerheten i større grad lar seg kvantifisere, og at det finnes verktøy slik at metodene enkelt kan anvendes.

Veilederen omhandler veiledning for beregning av vannføring. For dimensjoneringsformål må vannføringen som regel konverteres til vannstand via en hydraulisk modell eller ved hjelp av ruting. For veiledning knyttet til hydraulisk modellering henvises det til NVE Veileder 03/2022 eller annen egnet faglitteratur.

For å sikre et korrekt dimensjoneringsgrunnlag, må det legges til grunn riktige forutsetninger. Derfor må veilederen ses i sammenheng med andre veiledere rettet mot spesifikke formål.

- Ved flomberegninger for dammer, flomløp og andre vassdragsanlegg, er det utarbeidet en egen veileder [Flomberegninger for dammer – Veileder til damsikkerhetsforskriften – NVE Veileder \(02/2022\)](#). Denne utdyper bestemmelsene i § 5-7 om flomberegninger i forskrift av 18.12.2009 nr. 1600 om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften).
- Kravene til sikkerhet mot flom etter plan- og bygningsloven (pbl) § 28-1 og byggt teknisk forskrift (TEK17) § 7-2, i forbindelse med reguleringsplaner og bygge- og dispensasjonssaker, er omhandlet i [Sikkerhet mot flom – utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak – NVE Veileder \(03/2022\)](#).

Denne veilederen omhandler ikke flomberegninger som følge av overvann, dvs. vann som renner av på overflaten som følge av regn eller smeltevann. NVE jobber med å utarbeide veiledningsmateriell om hvordan en skal ta hensyn til overvannsutfordringer i arealplanlegging.

Målgruppen for veilederen er først og fremst fagkyndige personer med erfaring innen flomberegninger. Veilederen egner seg også som en innføring i praktisk gjennomføring av en flomberegning. For grunnleggende innføring i flomberegninger og mer detaljerte beskrivelser av teori og metoder, anbefales det at aktuell litteratur fra referanselisten leses.

1.1 Oppbygging av veilederen

Generelt anbefaler NVE at brukere av veilederen er kjent med innholdet i hele dokumentet. For beregninger i regulerte vassdrag er kapittel 5 og 6 spesielt viktig. Veilederen er i grove trekk inndelt slik:

- Kapittel 2 beskriver bla. hvordan flommer oppstår, hva som påvirker flomstørrelsene, krav til den utførende og krav til selve flomberegningen sett utfra formålet med beregningen. Det gis en generell innføring i ulike flomberegningsmetoder, som sammen med Vedlegg 1.8 «Trinnvis arbeidsgang for flomberegninger» gir en enkel oversikt over gangen i en flomberegning.
- I kapittel 3 gjennomgås relevante data og hvordan man velger en representativ tidsserie. Problemstillinger rundt kvalitet og usikkerhet i datagrunnlaget diskuteres.
- Kapittel 4 gir praktiske anbefalinger til hvilke metoder og hvilke anbefalinger som gjelder ut fra det datagrunnlaget som finnes.
- Kapittel 5 er rettet mot flomberegninger i regulerte vassdrag, spesielt damsikkerhet, men også andre tilfeller hvor det er nødvendig å rute en tilløpsflom gjennom et magasin, innsjø eller et vassdrag.
- Kapittel 6 beskriver problemstillinger knyttet til mer komplekse og sammensatte felt, hvor samløpsproblematikk diskuteres spesielt.
- Kapittel 7 og 8 viser hvordan estimatene av flomstørrelsene kan evalueres og hva usikkerheten i beregningene utgjør. Klimapåslag er også omtalt.
- I vedleggene er det gitt mer detaljerte beskrivelser på metoder og anbefalt arbeidsgang, regneeksempler, samt oversikter over begreper og definisjoner.

1.2 Endringer ift. tidligere veiledere og retningslinjer

Denne veilederen erstatter det faglige innholdet knyttet til flomhydrologi i *Retningslinjer for flomberegninger* – NVE Retningslinjer (04/2011) og *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* – NVE Veileder (07/2015). De viktigste endringene i veilederen, samt større endringer i metoder og anbefalinger for flomberegninger, er oppsummert under.

- Tolkning og krav ift. Lovverk og regelverk er tatt ut. Dette omtales i tilhørende NVE veiledere (02/2022 og 03/2022).
- Veilederen er tilpasset for bruk i både uregulerte og regulerte vassdrag. Dette gjør at strukturen i veilederen er endret sammenlignet med tidligere.
- Generelt gir veilederen mer konkrete anbefalinger om valg av metoder ut fra det tilgjengelige datagrunnlaget i beregningene.
- Flomfrekvensanalyser:

- o Økt fokus på kvalitetssikring av hydrologiske data (kap. 3.1.2)
- o Økt fokus på bruk av tilsigsserier/vannhusholdningsdata (kap. 3.1.3).
- o Det er utarbeidet nytt regionalt formelverk (RFFA-2018) for beregning av flommer i store umålte felt (kap. 4.2.3). Dette erstatter formelverk fra 1997.
- o Det anbefales flomfrekvensanalyser basert på en kombinasjon av lokale flomdata og regional informasjon. Konkrete anbefalinger er avhengig av hvor mye lokale data som er tilgjengelig (kap. 4.2.4)
- o Frekvensanalyser direkte på kulminasjonsvannføring anbefales, der dette finnes for en lang nok periode.
- o Inkludering av historisk flominformasjon i analyser (kap. 4.2.1.2)
- Nedbør- avløpsmetoder:
 - o I tilfeller hvor det ikke lar seg gjøre å kalibrere PQRUT-modellen, anbefales det å bruke nye ligninger for modellparameterestimering (vedlegg 1.6.2)
- Det anbefales å benytte den samme klassifiseringen av det hydrologiske datagrunnlaget uavhengig av formål med flomberegningen. Denne klassifiseringen bør inngå i vurderinger av ev. sikkerhetsspåslag (kap. 7.1).

2 Flomberegninger i Norge

2.1 Hvordan skapes flommer i Norge?

I Norge oppstår store flommer i hovedsak som følge av regn og/eller snøsmelting. Vannmengdene som tilføres et nedbørfelt er bestemt av klimatiske forhold, der temperatur og fordeling av nedbør i tid og rom er viktige faktorer for avrenningen. Lagringskapasitet og transport av vann gjennom vassdraget er avhengig av de fysiografiske egenskaper ved nedbørfeltet, slik som grunnforhold, vegetasjon, terreng, innsjøer og elvenettverk. Hva som til slutt er den dominerende årsaken til flommer i et vassdrag, er dermed avhengig av både de klimatiske og fysiografiske egenskapene til nedbørfeltet.

De fleste skadeflommene i Norge er forårsaket av regn, eller regn i kombinasjon med snøsmelting, men det forekommer også rene smelteflommer som gir skade. Det er likevel ikke en entydig sammenheng mellom store regnmengder og flom. De største flommene oppstår som regel når nedbøren er meget intens, eventuelt i kombinasjon med andre ugunstige forhold, som for eksempel snøsmelting, høy vannmetning i jord eller frossen mark.

Norge har stor variasjon i klima fra kyst til innland og middelavrenningen varierer fra ca. 10 - 170 l/s/km² (tilsvarer ca. 300 – 5400 mm/år). Deler av kystområdene har størst årlig avrenning. Det er også disse områdene som har observert de største spesifikke flommene i Norge, med kulminasjonsverdier på opp mot 4600 l/s/km².

De store forskjellene i nedbør og temperatur gjenspeiles i hydrologien og avløpets karakter. Det vil derfor variere når på året man opplever de største flommene og hvilke prosesser som driver de.

Om sommeren og høsten kan regnflommer forekomme som et resultat av intensiv nedbør med liten arealutbredelse hvor små elver som reagerer raskt på nedbør er spesielt utsatt. De større vassdragene krever et større volum av tilført vann over tid. Slike volum kan forårsakes av store snømengder og påfølgende langvarig, intens smelting, gjerne kombinert med store nedbørsystemer som dekker større deler av vassdraget.

I store innlandsvassdrag på Østlandet, i Finnmark og Troms og i fjellet er smelteflommen på våren som regel årets største flom. I nedbørfelt med stor breandel inntreffer flommene oftest om sommeren eller tidlig på høsten. Hovedårsaken til disse flommene er da smelting fra snø eller is, hvor de aller største flommene fås i kombinasjon med kraftig regn.

På sensommeren og høsten opptrer flommer ofte som et resultat av frontnedbør. Langs hele kysten vil en regnflom på høsten ofte være årets største flom. I lavereliggende områder langs kysten kan årets største flom likevel skje på vinteren, forårsaket av regn og snøsmelting. Stor tilførsel av varm og fuktig luft, gjerne i kombinasjon med vind, kan bidra til stor snøsmelting.

2.2 Hva er et gjentakintervall?

Når ulike konstruksjoner (f.eks. vei, bru, dam) skal dimensjoneres, brukes begrepet gjentakintervall for å si noe om flomstørrelsen tiltaket skal dimensjoneres for.

I flomberegninger brukes gjerne begrepet gjentakintervall som «*Gjentaksintervall er et mål for hvor mange år det i gjennomsnitt er mellom hver gang en bestemt vannføring overskrides*». Gjentaksintervall brukes for å anslå (statistisk) hvor sjelden en hendelse av en viss størrelse er. I en uendelig lang tidsserie vil for eksempel en flom med gjentakintervall 100 år, også kalt 100-årsflom, i gjennomsnitt opptre hvert hundrede år. Det er altså 1% sannsynlighet hvert år for at en flom av denne størrelsen vil overskrides. Det er viktig å merke seg at dette ikke utelukker at en 100-årsflom kan inntreffe to år på rad, selv om dette er lite sannsynlig.

2.2.1 Gjentaksintervaller og observasjoner

Ettersom gjentakintervaller er relatert til overskridelsessannsynligheter kan en regne ut hvor sannsynlig det er å observere flommer med gjentakintervall, T, eller større enn T gitt hvor mange år en har med observasjoner. Tabell 1 viser utvalgte kombinasjoner av observasjonslengde/tidsperiode (L) og tilhørende sannsynligheter for å observere en flom lik eller større enn det gitte gjentakintervallet (T). For eksempel vil en flom med et gjentakintervall på 1000 år har en sannsynlighet på 18 % for å bli overskredet i løpet av en periode på 200 år.

Tabell 1. Sannsynlighet i prosent (%) for overskridelse av T-årsflom i en periode på L år.

Gjentaksintervall i år (T)	Tidsperiode 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	15	10	18	39	63

2.2.2 Gjentaksintervaller for dimensjonering

Begrepet gjentakintervall er viktig i flomberegninger siden tiltak i vassdrag gjerne har krav om å tåle en vannføring med et visst gjentakintervall. Ut fra tiltakets art, risikovurdering og forventet levetid, er det ulike krav til flommenes årlige nominelle sannsynlighet som legges til grunn for dimensjoneringene. I påfølgende delkapitler er det gitt henvisninger til noen veiledere og aktuelle lovverk.

2.2.2.1 Reguleringsplan og byggesak

Kravene til sikker byggegrunn, herunder sikkerhet mot flom, er fastsatt i [plan- og bygningsloven \(pbl\)](#) § 28-1 og § 29-5, og [byggteknisk forskrift \(TEK17\)](#) kap. 7, med tilhørende veiledning.

Byggverk der konsekvensen av flom er særlig stor «skal ikke plasseres i flomutsatt område» jf. TEK17 § 7-2 første ledd. NVE mener en sikker plassering i forhold til påregnelig maksimal flom (PMF), vil gi tilstrekkelig sikkerhet for denne typen byggverk.

Det er definert tre sikkerhetsklasser for flom med ulike flomstørrelser som skal legges til grunn for byggverk i flomutsatte områder, jf. TEK17 § 7-2 annet ledd, se Tabell 2. Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom slik at største nominelle årlige sannsynlighet i tabellen ikke overskrides. Hvilken sikkerhetsklasse et byggverk tilhører, er avhengig av dets funksjon og konsekvens ved oversvømmelse.

Tabell 2. Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område (TEK17 § 7-2 andre ledd)

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	Liten	1/20
F2	Middels	1/200
F3	Stor	1/1000

For en mer detaljert beskrivelse av bygging i flomutsatte områder, se [Sikkerhet mot flom – utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak – NVE Veileder \(03/2022\)](#).

2.2.2.2 Dammer og vassdragsanlegg

[Damsikkerhetsforskriften](#) setter en rekke krav til utførelsen av flomberegninger. Blant annet skal vassdragsanlegg i konsekvensklasse 1-4 dimensjoneres og kontrolleres for flomstørrelser gitt i Tabell 3. For noen dammer kan også andre flomrelaterte ulykkessituasjoner (ulykkesflommer) være aktuelle.

Tabell 3. Minimumskrav til flomberegninger ved vassdragsanlegg.

Klasse	Bruddgrensetilstand (Q_{dim})	Ulykkesgrensetilstand	
	Generelt krav	Generelt krav	Tilleggskontroll
4 og 3	Q_{1000}	PMF	$Q_{dim} + \text{lukesvikt}$
2	Q_{1000}	PMF eller $1,5 \times Q_{dim}$	$Q_{dim} + \text{lukesvikt}$
1	Q_{500}	PMF eller $1,5 \times Q_{dim}$	$Q_{dim} + \text{lukesvikt}$

For vassdragsanlegg i konsekvensklasse 0 er det ingen spesielle krav til dimensjonering og dermed ingen krav til flomstørrelser, men NVE anbefaler at dammer i konsekvensklasse 0 minimum dimensjoneres for Q_{200} .

Den som utfører beregningen eller har fagansvaret må være godkjent fagansvarlig iht. [NVEs krav](#).

For en mer detaljert beskrivelse av beregningsforutsetninger for flomberegninger for vassdragsanlegg plassert i konsekvensklasse 1 eller høyere, se [Flomberegninger for dammer – NVE Veileder \(02/2022\)](#).

2.2.2.3 Vegbygging: bruer, kulverter og stikkrenner

I Vegnormal N200 (Statens vegvesen, 2021) anbefaler man at bruer, kulverter og stikkrenner skal dimensjoneres etter en flom med gjentaksintervall fra 50-200 år.

Gjentaksintervallet bestemmes ut fra årsdøgntrafikk og omkjøringsmuligheter. En sikkerhetsmargin (sikkerhetspåslag) skal også legges til.

2.2.2.4 Skogsveger, kulverter og stikkrenner

Kulverter og stikkrenner i forbindelse med skogsveger anbefales dimensjonert etter en flom med gjentaksintervall i størrelsesorden 20 - 50 år, se mer i Fergus mfl. (2011).

2.3 Metoder for flomberegning

Ved beregning av flomvannføring kan ulike metoder benyttes. Generelt deles metodene inn i to hovedgrupper:

- Flomfrekvensanalyser
 - o Lokal flomfrekvensanalyse
 - o Regional flomfrekvensanalyse (f.eks. formelverk)
 - o Kombinasjon av lokal og regional flomfrekvensanalyse
- Nedbør-avløpsmetoder
 - o Enkle nedbør-avløpsmetoder (f.eks. PQRUT modellen eller den Rasjonelle metode)
 - o Avanserte hydrologiske modeller (f.eks. HBV-modellen)
 - o Stokastiske simuleringsmetoder

Flomfrekvensanalyser er statistiske analyser som relaterer flomstørrelser for et nedbørfelt til gjentaksintervaller (for eksempel 200-årsflommen). Flomfrekvensanalyser utføres på observerte flomdata fra enkeltstasjoner, beregnede tilsigsserier eller konstruerte dataserier, også referert til som *lokal flomfrekvensanalyse*. Metoden kan også benyttes til ulike typer av *regionale flomfrekvensanalyser* som utføres for et begrenset antall stasjoner i en region eller for et større antall stasjoner over et stort geografisk område. Eksempler på dette i Norge er formelverket for små nedbørfelt, RFFA-NIFS (Glad mfl., 2015) og formelverket RFFA-2018 (Engeland mfl., 2020). En kombinasjon av regionalt formelverk og lokale flomdata (*lokal + regional flomfrekvensanalyse*) er også mulig (Engeland mfl., 2020).

Når flomfrekvensmetoden benyttes til å bestemme tilløpflom, avløpsflom og flomvannstand, eksempelvis i et reguleringsmagasin, må det i tillegg konstrueres et flomforløp (kap.4.2.7). Flomforløpet benyttes deretter til å beregne avløpsflommen og tilhørende vannstand, ved å rute tilløpsflommen gjennom magasinet eller innsjøen (mer om ruting i kap. 0).

Nedbør-avløpsmetodene bruker nedbørverdier som inngangsdata, ev. i kombinasjon med snøsmelting. Dette overføres til flomverdier ved hjelp av en hydrologisk modell eller empiriske formler. For å kunne utføre en nedbør-avløpsanalyse benyttes frekvensanalyser på nedbørdata (IVF-kurver) som input og det må konstrueres et nedbør- og ev. snøsmelteforløp (se kap. 4.3.2). For informasjon om anbefalinger, beregning og bestilling av meteorologiske data se kap. 3.1.5..

Vedlegg 1.8 «[Trinnvis arbeidsgang for flomberegninger](#)» gir en enkel oversikt over gangen i en flomberegning, men kan også fungere som en huskeliste for den som skal utføre en flomberegning. Den trinnvise arbeidsgangen henviser til relevante kapitler og verktøy i veilederen for de ulike stegene.

Kapittel 4 gir informasjon om de mest brukte metodene for estimering av flom i Norge og det gis konkrete anbefalinger for utførelse av flomberegninger ut fra tilgjengelig datagrunnlag.

Alle metoder for å estimere ekstreme flommer er beheftet med stor grad av usikkerhet. For vurdering av flomestimat og usikkerhet, se kap. 7.

2.4 Betydning av flomforhold i flomberegninger

Ved utførelse av flomberegninger er det viktig å sette seg inn i flomforholdene. Flomgenererende prosesser kan i mange tilfeller ikke bestemmes ut fra sesong/tid på året alene, fordi det kan komme en smelteflom på høsten eller en regnflom på vinteren. De flomgenererende prosessene innvirker også på hyppigheten og størrelsen på flommene, og dette vil igjen ha betydning for tilpasningen av frekvensfordelinger til flomdataene.

Overordnet anbefales det at flomfrekvensanalyser utføres på årsflommer. Dette begrunnes med at dette er den enkleste tilnærmingen og ofte gir tilfredsstillende og robuste estimater. I tillegg mangler tilrettelagt verktøy for 1) å kunne skille mellom regn og- smelteflommer og 2) å kombinere sannsynligheter ved bruk av flere sesonger i analysene. Bruk av årsflommer i flomfrekvensanalyser gir forholdsvis like resultater som analyser gjort på sesong dersom man har en dominerende flomgenererende prosess som kan knyttes til sesong. Ved utvikling av nyere regionale formelverk for flommer (RFFA-2018, RFFA-NIFS) er det kun benyttet årsflommer i datagrunnlaget.

I spesielle tilfeller kan det likevel gi bedre tilpasning til dataene ved å dele inn datagrunnlaget etter flomgenererende prosess eller sesong. I følgende tilfeller er vurdering av flomforholdene ut fra sesong fornuftig:

- Ved utvalg og sammenligning mot representative målestasjoner i nærliggende eller tilsvarende nedbørfelt.
- Ved beregninger for midlertidige og kortvarige tiltak (eks. midlertidig fangdam/fylling).
- For flomberegninger i regulerte vassdrag, spesielt der hvor årets største flom er endret fra smelteflom på våren til regn/kombinasjonsflom på høsten på grunn av reguleringene.
- Ved valg av sesongnedbør, og om man bør ta hensyn til snøsmelting i nedbør-avløpsmodeller.

2.5 Feltegenskaper

Både flomforløpet og flomstørrelsene i et vassdrag påvirkes av de klimatiske forholdene og de fysiografiske egenskapene til nedbørfeltet, som gjerne omtales som feltegenskaper.

Et første skritt i en flomberegning er å finne arealet på nedbørfeltet til beregningspunktet. Kartapplikasjonen [NEVINA](#) beregner feltgrenser for et gitt punkt

langs elvenettverket. I NEVINA beregnes også andre feltegenskaper som feltparametre (fysiografiske egenskaper), klimaparametre (klimatiske forhold) og lavvanns- og flomindekser.

Resultatene kan lastes ned både som Shape-fil og som ferdig definerte pdf-rapporter. Shape-filen kan blant annet lastes opp i NVEs kartapplikasjoner [NVE Seriekart](#) og [NVE Temakart](#) for videre bruk i analysen.

I vedlegg 1.2 defineres relevante feltegenskaper.

2.5.1 Feltparametre

De fysiografiske egenskapene omtales ofte som feltparametre og gjenspeiler en fysisk egenskap ved nedbørfeltet som kan påvirke flomforløpet i en elv. Felt med liten selvregulering/demping gir raske og spisse flomforløp, mens felt med stor selvreguleringsevne gir flommer som er mer dempet og har en lengre varighet. I listen under gis en oversikt over de vanligste feltparametrene og hvordan de påvirker selvreguleringsevnen til feltet og dermed flomforløpet. Listen er ikke uttømmende.

Areal: Økende areal gir generelt mindre spesifikke flommer fordi avrenningen fra forskjellige deler av nedbørfeltet når utløpet til ulike tider og vannføringen fordels over en lenger tid. Større areal reduserer også sannsynligheten for samtidig og intensiv nedbør over hele feltet.

Effektiv sjøprosent: Innsjøer virker flomdempende, særlig store innsjøer og innsjøer langt nede i vassdraget. Høy effektiv sjøprosent gir stor selvreguleringsevne/dempning og dermed lavere flomtopp.

Skog/vegetasjon/dyrket mark: Høy andel av disse feltparametrene betyr vanligvis tykkere lag med jord som gir økt opptak av vann og dermed økt flomdemping i feltet. I tillegg vil mye vegetasjon gi økt evapotranspirasjon.

Snaufjell/bartfjell/tynt jordsmonn: Høy andel av disse feltparametrene gir rask avrenning og spisse flomforløp.

Myr: Høy andel myr kan bidra til et raskere flomforløp. Dette gjelder først når myrområdene er mettet med vann. Inntil metning er nådd vil myrarealene virke dempende på flomforløpet.

Bre: Mye bre i feltet bidrar til økt avrenning om sommeren og høsten. I perioder hvor breen er fri for snø, bidrar også isen til en raskere avrenning.

Helning i feltet/feltgradient/bratthet: En bratt helning i feltet vil gi økt hastighet på vannet og dermed raskere avrenning. I bratte felt vil flomvannet samles raskere i hovedvassdraget enn i flate felt. I felt med liten høydeforskjell kan snøsmeltingen være omtrent like intens i hele feltet samtidig, og dermed bidra til økt spesifikk flom.

Dreneringstetthet: Et godt utviklet dreneringsnett vil bidra til kortere responstid på nedbør ved at flomvannet samles raskere i hovedvassdraget enn for felter som har få bekker og elver.

Konsentrasjonstid: Konsentrasjonstiden (T_c) sier noe om hvor raskt nedbørfeltet reagerer på regn og defineres som «den tiden det tar for vannet å bevege seg gjennom

elvenettverket fra de fjerneste delene av nedbørfeltet til utløpet». Som en hovedregel vil regn med en varighet som tilsvarer konsentrasjonstiden til vassdraget være bestemmende for de største flommene.

Utløpsforhold ved innsjø: Utløpsforholdene ved en innsjø påvirker flomforløpet, spesielt hvis innsjøen ligger langt nede i feltet. Et bredt utløp har stor kapasitet, mens et trangt utløp har mindre kapasitet og bidrar dermed til større magasinering og igjen større evne til å dempe flommene i vassdraget nedstrøms innsjøen.

Bifurkasjon: Når en elv deler seg i to, og det ene elveløpet forlater hovedelva og renner over i annet vassdrag oppstår fenomenet bifurkasjon. En variant av bifurkasjon kan også være en innsjø/vann med to utløp, hvor utløpene renner ut i ulike vassdrag. I slike felt må det anslås en fordeling av vannet i de ulike løpene. Dette kan variere med vannføringen/vannstanden.

Reguleringsgrad: Reguleringsgraden gir informasjon om feltet er påvirket av vassdragsreguleringer. Reguleringsgraden *kan* påvirke både flomforløp og flomstørrelse, og bør derfor vurderes. Man skiller mellom reguleringsgrad-areal og reguleringsgrad-magasin. Definisjon av reguleringsgrad fås i Vedlegg 1.2. For vannføringsstasjoner er reguleringsgraden beregnet og finnes i [NVE Seriekart](#).

2.5.2 Klimaparametre

De klimatiske forholdene varierer stort i Norge og har en avgjørende betydning for både flomstørrelsen og flomforløpet. Eksempelvis vil nedbørens form (regn/snø), mengde, arealutbredelse og intensitet ofte være hovedårsakene til flom, og påvirker både flomstørrelsen og flomforløpet i et vassdrag.

Nedbør: De store nedbørmengdene i Norge, og særlig på Vestlandet, skyldes de atlantiske lavtrykkene som beveger seg fra sørvest mot nordøst langs grensen mellom tempererte og arktiske luftmasser. Når de fuktige luftmassene når kysten tvinges de til å stige. Dette fører til en sterk nedbørutløsning som gir et nedbørmaksimum 50 - 100 km fra kysten (Beldring mfl., 2002). I denne maksimumssonen når årlig nedbør typisk opp i rundt 3000 mm på deler av Vestlandet, med lokale maksimumsverdier opp mot 6000 mm¹. På lesidene av fjellkjedene kan årlig nedbør være så lav som 300 mm.

Største døgnnedbør registrert i Norge er på 230 mm/24t² i Hordaland. Maksimal timesverdi i Norge er registrert på Tjøme med 76 mm/t³. Mer om meteorologiske data i kap. 3.1.5.

Temperatur: Temperaturen avtar generelt med økende høyde over havet. Temperaturforholdene avgjør om nedbøren faller som snø eller regn. Høy temperatur kan alene føre til sterk snøsmelting.

Middelavrenning/normalavrenning: Et felt med høy årlig middelavrenning har jevnt over høyere spesifikke flomtopper enn et felt med mindre årlig avrenning, hvor øvrige feltegenskaper er tilnærmet like. Middelavrenningen varierer i Norge fra ca. 10 – 170

¹ Høyeste registrerte årsnedbør (1990) ved Brekke i Sogn på 5596 mm.

² Indre Matre, Hordaland 26. november 1940. Måleren ved Indre Matre rant over. Den faktiske døgnnedbøren kan derfor ha vært noe høyere. Dagen etter falt det 149 mm i Indre Matre og summen på 379 mm er rekord for to døgn i Norge (Mamen, 2009).

³ Tjøme, Vestfold og Telemark, 29. juli 2021.

l/s/km². Middelavrenningen bestemmes fortrinnsvis ut fra observasjoner i feltet. Dersom det ikke foreligger lokale data kan en bruke avrenningskartet for gjeldende normalperiode. Avrenningskartet finnes digitalt som en del av NVEs kartapplikasjon [NEVINA](#) (Beldring mfl., 2002). Middelavrenningen inngår i de nasjonale formelverkene for flomestimer (RFFA-NIFS og RFFA-2018) og har stor innflytelse på resultatet. Det anbefales alltid å gjøre en vurdering av verdien en får fra avrenningskartet når den skal brukes i formelverkene.

2.6 Regulerte vassdrag

Kapitler i denne veilederen som er av særlig interesse for flomberegninger som utføres for damsikkerhet er listet opp i punktlisten nedenfor. Flere av punktene kan også være relevante for flomberegninger i regulerte vassdrag for andre formål (eks. flomberegninger for flomsonekartlegging).

- 2.2.2.2 Dammer og vassdragsanlegg
- 2.6 Regulerte vassdrag
- 3.1.3 Tilsigsdata
- 4.2.1.1 Frekvensanalyser på regulerte vannføringsserier
- 4.4 Påregnelig maksimal flom (PMF)
- 6.1 Sammensatte nedbørfelt
- 7.1 Vurdering av det hydrologiske datagrunnlaget

2.6.1 Flomberegninger for damsikkerhet

[Damsikkerhetsforskriften](#) setter en rekke krav vedrørende utførelse av flomberegninger for damsikkerhet (dammer i klasse 1-4). Dette kan eksempelvis være at magasin vannstanden ved flommens begynnelse settes til høyeste regulerte vannstand (HRV) og at vassdragsanlegg i konsekvensklasse 1-4 skal dimensjoneres og kontrolleres for flomstørrelser gitt i Tabell 3.

For veiledning knyttet til krav satt i damsikkerhetsforskriften, se [Flomberegninger for dammer – NVE Veileder \(02/2022\)](#).

2.6.2 Kraftverk og overføringer

I en flomberegning regnes drift av kraftverk og overføringer gjerne med konservative antakelser, dvs. ut fra den situasjon som gir størst flommer.

I vassdrag der det finnes et entydig manøvreringsreglement eller dokumenterte tappestrategier under flom, kan effekten av dette inkluderes i flomestimatene for gjentakintervall opp til og med 200 år. Reguleringspraksis (manøvrering ved flom) fra store flomhendelser og lange regulerte måleserier, kan inngå som grunnlag for å vurdere hvordan drift av kraftverk og overførte vannmengder kan håndteres i flomberegningen. Alle antakelser om overføringer og sannsynligheter for drift av kraftverk bør begrunnes godt.

For større gjentakintervaller enn 200 år, bør forutsetninger som angitt i [Flomberegninger for dammer – NVE Veileder \(02/2022\)](#) benyttes.

For krav til sikkerhet mot flom i reguleringsplaner og på byggesaksnivå se [Sikkerhet mot flom – NVE Veileder \(03/2022\)](#).

2.7 Anbefalt kompetanse

NVE anbefaler at alle som utfører flomberegninger har relevant utdanning innen hydrologi og hydrologisk modellering der hydrologiske prosesser i nedbørfelt, hydrologiske målemetoder og beregningsmetoder for flomberegninger inngår. Den som kvalitetssikrer arbeidet (sidemannskontroll) bør ha tilsvarende kompetanse som den som utfører flomberegningen.

For flomberegninger til bruk i dimensjonering av dammer etter damsikkerhetsforskriften foreligger det krav om [dokumentert kompetanse](#) og [godkjenning innen fagområde](#) IV Flomhydrologi. Der de hydrauliske forholdene er kompliserte er det også krav om at det benyttes godkjent fagansvarlig i fagområde V *Hydraulikk og flomavledning*.

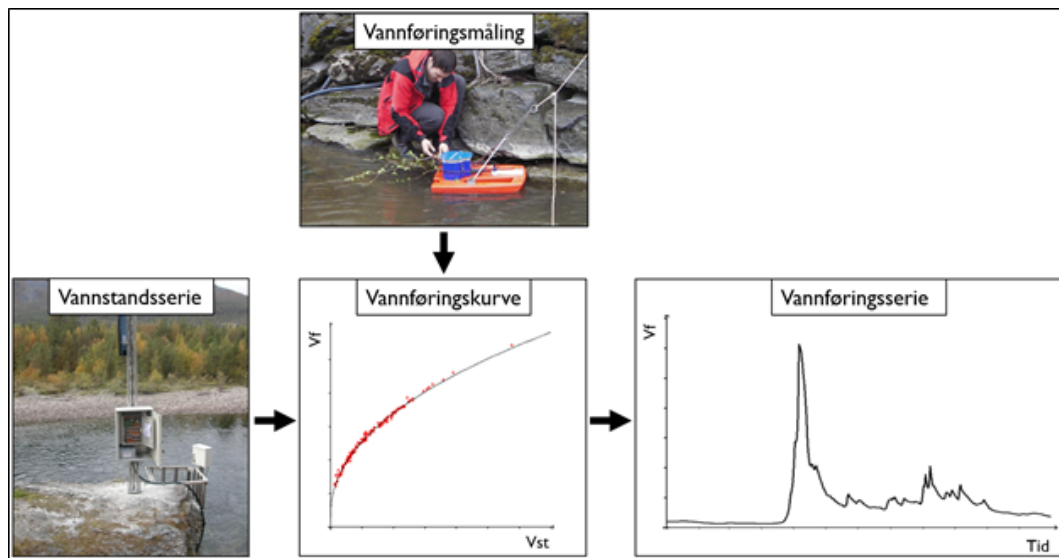
3 Datagrunnlag

Kvaliteten på datagrunnlaget er avgjørende for kvaliteten og usikkerheten i beregnede flomverdier. Det er derfor viktig å inkludere alle relevante tilgjengelige data og gjøre en grundig vurdering av datakvaliteten.

3.1 Hydrologiske data

3.1.1 Vannstand og vannføring

De hydrologiske målestasjonene i Norge som gir oss tidsserier for vannføring, er i all hovedsak steder hvor det måles vannstand kontinuerlig og hvor forholdet mellom vannstand og vannføring er entydig. Forholdet etableres vanligvis gjennom å foreta manuelle vannføringsmålinger ved mange ulike vannstander. Vi kaller forholdet for vannføringskurve og bruker den til å konvertere de kontinuerlige måleseriene for vannstand til kontinuerlige dataserier for vannføring. Trinnene er illustrert i Figur 1.



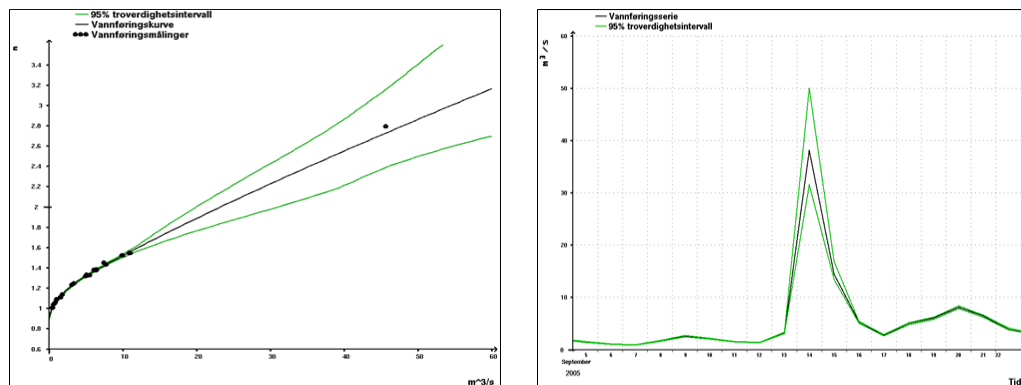
Figur 1. For å få en vannføringsserie observeres først vannstanden som deretter regnes om til vannføring via en vannføringskurve.

Når data skal brukes til flomberegninger må usikkerheten i vannføringsserien vurderes. I den totale usikkerheten inngår flere ledd, de viktigste er:

- **Usikkerhet i den målte vannstandsserien.** Dette kan f.eks. være tekniske feil på måleinstrumenter eller tett rør mellom elv og målested. Info om stasjonsspesifikke forhold for vannstandsregistrering for den enkelte målestasjonen finner man i [NVE Seriekart](#).
- **Usikkerhet som skyldes perioder hvor forholdet mellom vannstand og vannføring ikke følger vannføringskurven.** Dette gjelder særlig stasjoner hvor is stuver opp vannet på vinteren, slik at en høy vannstand ikke tilsvarer stor vannføring. Slike data kan ha stor usikkerhet i vinterperioden, men påvirker bare flomdata dersom de største flommene forekommer på denne tiden av året.

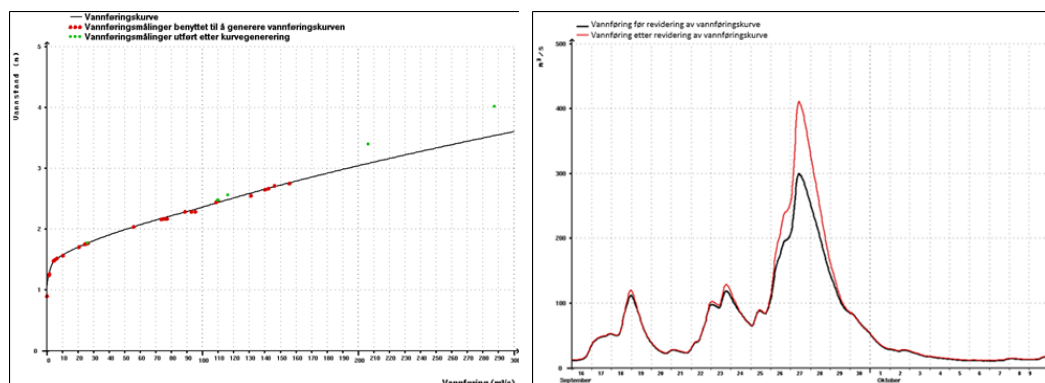
- **Usikkerhet i de manuelle vannføringsmålingene.** For eksempel på grunn av vanskelige måleforhold, hvor måleinstrumentene ikke får til å måle nøyaktig eller på grunn av at vannføringen øker raskt under måling, slik at vannstand-vannføringsrelasjonen blir vanskelig å fastslå.
- **Usikkerhet i vannføringskurven.** For eksempel fordi det mangler manuelle vannføringsmålinger på flom eller fordi målestedets bestemmende profil har blitt endret på grunn av erosjon eller pålagrede masser.

Vannføringskurvens statistiske usikkerhet kan vises i NVEs programmer både for selve vannføringskurven, (Figur 2, til venstre) og i den tilhørende tidsserien for vannføring, (Figur 2, til høyre).



Figur 2. Figuren (til venstre) viser en vannføringskurve som er lite usikker i området der det finnes mange vannføringsmålinger, men svært usikker på flom, der det er kun en vannføringsmåling. Til høyre vises vannføringsserien for gjeldende vannføringskurve (sort) og tilhørende konfidensintervallet (95-persentilen) fra vannføringskurven (grønn).

Det må genereres ny vannføringskurve dersom det kommer nye manuelle vannføringsmålinger for deler av kurven som har få eller ingen målinger, eller hvis det bestemmende profilet endres, Figur 3 til venstre. Ny vannføringskurve endrer også tidsserien, Figur 3 til høyre. Hvis behovet for endring av vannføringskurven skyldes endring i det bestemmende profilet, vil dette påvirke vannstand og vannføringsserien fra tidspunktet for endringen og fremover. Er endring derimot en generell forbedret kurve på grunn av flere målinger og mindre ekstrapolering vil dette påvirke hele tidsserien, altså også bakover i tid.



Figur 3. Til venstre: Nye vannføringsmålinger (grønne punkter) viser at vannføringskurven mest sannsynlig overestimerer de høye vannføringene. Til høyre: Vannføring før og etter revidering av vannføringskurve.

Ved nye flomberegninger bør det undersøkes om vannføringskurven er endret hvis det benyttes resultater fra tidligere analyser. Denne informasjonen finner man f.eks. i Hysopp (se vedlegg 1.3). Oversikt over kurvekvalitet for målestasjonene finner man i [NVE Seriekart](#).

3.1.2 Kvalitetskontroll av hydrologiske data

Datagrunnlaget som skal brukes i analyser og modeller må være kvalitetskontrollert. Feil i datagrunnlaget vil påvirke analysene og resultatene.

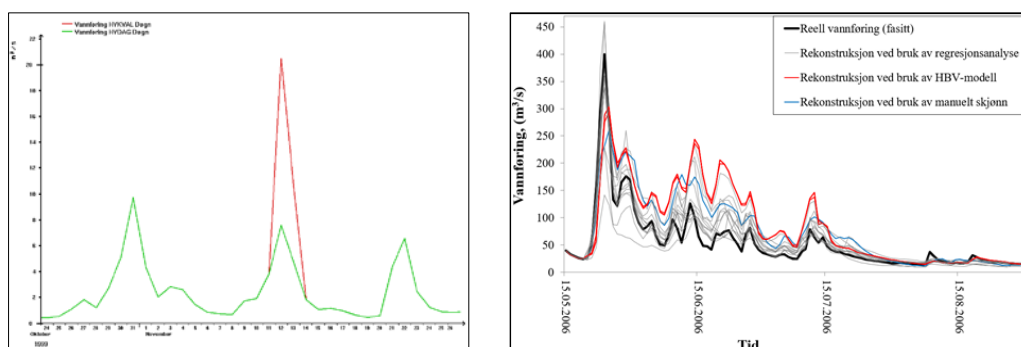
I NVEs database finnes det to kvalitetskontrollerte arkiv, hhv. Hydag (døgndata) og Hykval (findata). Det er ulike målsetninger for kvalitetskontrollen til de to arkivene. Hydag, skal gi riktig vannføring, det vil si at vannstandsdata korrigeres for isoppstuvning. Hykval, skal derimot gi korrekt vannstand slik som den var i elva på det gitte tidspunktet, og korrigeres derfor ikke for isoppstuvning. Bare data på døgnarkivet korrigeres for isoppstuvning og kompletteres hvis data av noen grunn mangler. Data på finarkivet inneholder kun observerte verdier.

Hvis analyser skal gjøres på vannføringsserier med fin tidsoppløsning er kvalitetskontroll ekstra viktig. Dette fordi data på findataarkivet Hykval kan inneholde høye verdier som skyldes oppstuvningseffekter av is eller annet som ikke representerer reelle vannføringer. For å avhjelpe problemstillingen rundt isoppstuvning på findata har NVE utarbeidet to arkiver:

- «*Virtuelt isreduserte findata*» hvor data justeres ned slik at døgnmiddelverdien stemmer med de isreduserte verdiene fra døgnarkivet.
- «*Findata med fjerning av isreduserte dager*», hvor isreduserte data er fjernet.

Hvis analyser skal gjøres på døgndata og serien har lange/mange perioder med rekonstruerte data på grunn av mangler eller feil i observerte data, må flomverdiene vurderes grundigere. Hvis rekonstruksjonene dekker perioder med flom, kan datagrunnlaget for flomberegningen være særlig usikkert.

Figur 4 viser resultater fra ulike måter å rekonstruere data. En måte å se om data inneholder rekonstruksjoner er å plote data fra Hykval-arkivet som døgn og sammenligne dette med Hydag (til venstre i Figur 4).



Figur 4. Til venstre: data fra Hykval-arkivet med døgnoppløsning (rød), sammenlignet med data fra Hydag-arkivet (grønn). Flommen i midten er korrigert på Hydag-arkivet og er dermed ikke den største døgnmiddelflommen i perioden, selv om det ser slik ut på Hykval arkivet. Til høyre: eksempel på ulike måter å rekonstruere en vannføringsserie på og hvordan de kan avvike fra den observerte serien.

Mange av de lange måleseriene inneholder eldre data som er manuelt avlest en gang i døgnet, ofte uten at man vet når på døgnet de ble observert. I dag bruker man som regel verdiene med en antakelse om at de representerer døgnmiddelverdier. I virkeligheten kan verdiene være både større og mindre enn de virkelige døgnmiddelverdiene. Døgnmidler fra nyere målinger er basert på kontinuerlige registreringer og midlet for kalenderdøgn.

NVE anbefaler at det alltid utføres en vurdering av kvaliteten på tidsseriene (se også kap.3.1.5) som brukes i en flomberegning. Hvis en detaljert datakontroll blir veldig omfattende, eksempelvis hvis det brukes veldig mange tidsserier i analysen, kan det vurderes om bare kontroll av data fra de mest representative stasjonene er tilstrekkelig, eller om en forenklet datakontroll kan være nok.

Mer om hvordan Hydrologisk avdeling gjør kontroll av hydrologiske data i vedlegg 1.4.

Beskrivelse av NVEs database og analyseprogramvare (Hydra II) og ulike arkiver er gitt i vedlegg 1.3.

Spørsmål om datakvalitet kan rettes til Hydrologisk avdeling i NVE hydrology@nve.no.

3.1.3 Tilsigsdata

I regulerte vassdrag hvor en har gode vannhusholdningsdata (magasin vannstander, driftsvannføringer, flomtap, overførte vannmengder osv.), kan tilsigsserier konstrueres for å beregne tilløpsflom. Dette er et verdifullt supplement til bruk av representative vannføringsserier. I dette kapitlet beskrives det hvordan tilsigsserier kan brukes, og hvilket datagrunnlag som er nødvendig for å konstruere tilsigsserier. Til slutt beskrives det også kort hvordan tilsigsserier i NVEs database konstrueres og lagres.

3.1.3.1 Definisjoner

En **tilsigsserie** i et regulert vassdrag beskriver vannføringen vassdraget ville hatt om det verken var dempning i oppstrøms magasiner eller overføringer inn eller ut av vassdraget. Årlig maksimal verdi fra tilsigsserien gir årlig **tilsigssflom**.

En **tilløpsflom** er flom til magasinet fra uregulert lokalfelt, tillagt avløpsflom fra eventuelle oppstrøms magasin og overføringer. Tilløpsflom er med andre ord flom til magasin, innsjø eller et sted i vassdraget hvor selvreguleringen i alle oppstrøms magasin/innsjøer er medregnet.

Totalavløp er summen av vannføringer fra et magasin. Dette kan bestå av for eksempel overløp, forbitapping (f.eks tapping gjennom luker), driftsvannføring.

3.1.3.2 Nødvendig datagrunnlag

Ved konstruksjon av tilsigsserier er det viktig å vurdere kvaliteten på datagrunnlaget. God kvalitet, enten det gjelder tidsoppløsning og nøyaktighet på magasin vannstander, driftsvannføringer gjennom kraftverk eller overløp og forbitapping fra magasin er avgjørende for å få gode tilsigsserier.

Det er behov for følgende data for å kunne utarbeide en tilsigsserie:

- **Vannføringsserie:** En tidsserie som beskriver totalavløp fra det magasinet eller punktet i vassdraget hvor tilsigsserien skal beregnes. Ofte er dette en tidsserie satt sammen av driftsvannføring gjennom kraftverket, overløp og

forbitapping ut fra magasinet. I enkelte tilfeller finnes det en målestasjon i elva nedstrøms et magasin som registrerer totalavløpet fra magasinet.

- **Serie for magasinvannstand:** Beskriver observert vannstand i magasinet. Nyere magasindata har som regel døgn- eller timesoppløsning. Eldre magasinvannstander har ofte ukesoppløsning som gir en systematisk underestimering av beregnet flomtilsig. Det finnes likevel eksempler på at magasinvannstander har vært registrert kun en gang pr. uke også på 2000-tallet.
- **Magasinkurve:** Gir sammenhengen mellom observert magasinvannstand og vannvolum.
- **Tidsserie(r) for overføringer:** Beskriver størrelse og variasjon i overførte vannmengder inn eller ut av nedbørfeltet. Hvis det er en målestasjon i elva rett oppstrøms inntaket til overføringen kan den benyttes direkte. Ofte er ikke dette tilfelle og vannføringen må da beregnes ved hjelp av en representativ vannføringsstasjon. Ved flom vil noe vann renne forbi inntaket og «mistes» som flomtap. Dette blir det som regel ikke korrigert for i tilsigsseriene.

Det er viktig at dataserier som benyttes til konstruksjon av tilsigsserier tilpasses slik at de har den samme tidsoppløsningen.

En tilsigsserie kan også konstrueres fra en målestasjon som står i en innsjø i et uregulert felt. Målestasjonen gir da både observert vannstand og beregnet vannføring. Da vil beregnet tilsig- og tilløp være likt. Det samme (tilsig = tilløp) gjelder også for øverste magasin i et vassdrag, gitt at det ikke er noen andre oppstrøms reguleringsinngrep som overføringer av vann inn og/eller ut av nedbørfeltet.

Det advares mot ukritisk bruk av beregnede tilsigsserier, da ekstremverdier i slike dataserier kan være unøyaktige. I mange tilfeller er ikke magasinobservasjonene daglige, slik at vannstandsdata er interpolerte mellom observasjonene. Observasjonsbrudd i magasindata i flomperioder fører til systematisk underestimering av beregnet flomtilsig. Hyppigheten av magasinobservasjoner, særlig i flomperioder, bør derfor alltid kontrolleres.

Av og til «fanges» store flommer i nedtappede magasiner, uten at det verken tappes eller kjøres vann fra magasinet gjennom kraftverk, luker eller overløp. Gitt at en da har gode vannstandsdata og en god magasinkurve, vil beregnet flomtilsig kunne bli svært nøyaktig. Generelt gjelder det at tilsigsdata midlet over 3-4 døgn eller lengre varigheter er mer pålitelige enn tilsigsdata midlet over 1-2 døgn, fordi unøyaktigheter i beregnede magasinlolumendringer avtar med økende varighet.

En bør også være oppmerksom på at i magasin med veldig lange overløp, vil beregnet vannføring ut av magasinet være spesielt følsom for nøyaktigheten i vannstandsmålingene (som kan være påvirket av bølger og vind).

3.1.3.3 Bruk av tilsigsserie

En tilsigsserie kan brukes til beregning av midlere tilsigsflom, flomfrekvensanalyser, beregning av tilløpsflom til magasin eller for etterregning av større flomhendelser i vassdraget. En tilsigsserie kan i prinsippet brukes til alle formål som andre typer av

vannføringsserier brukes til, men bruken og nytteverdien av en tilsigsserie vil alltid avhenge av kvalitet og lengde på tidsserien.

Eksempler på beregning av midlere tilsigsflom er gitt i rapporten «Flomtilsig fra magasindata» (Bakke & Holmqvist, 2018).

Ved beregning av tilsigsflom til et magasin, må denne fordeles på lokalfeltene til alle oppstrøms magasin, for eksempel etter midlere årsavløp eller relativt areal. Delflommene rutes deretter gjennom magasinene nedover vassdraget til nederste magasin, for å finne tilløpsflommen for aktuelt beregningspunkt.

3.1.3.4 Tilsigsserier i NVEs database

Ved beregning av tilsigsserier kan ulike beregningsmetodikk legges til grunn. I NVEs programvare (Hydra II) er det lagt til rette for to metoder, bruk av usentrerte eller sentrerte differanser ved beregning av magasin volumendringer. Sentrerte differanser betyr at volumendringer midles over to døgn. Usentrerte differanser betyr at volumendringer er beregnet som differansen mellom to påfølgende dager. Sentrerte differanser gir mindre «støy» i tilsigsserien sammenlignet med bruk av usentrerte differanser, men bruk av sentrerte differanser vil underestimere flomtoppene. Disse metodene beskrives nærmere i Stenius mfl. (2021).

I Hydra II (forklaring se vedlegg 1.3) er tilsigsserier betegnet med parameter 1050. I noen tilfeller er tilsigsserien lik vannføringsserien (parameter 1001). Tilsigsseriene i NVEs database er hovedsakelig beregnet med sentrerte differanser. Mer om tilsigsserier og ulike metoder for beregning av tilsigsserier kan leses i rapporten *Flomberegninger i regulerte felt – hvordan vassdragsreguleringer og flomforløp påvirker flomforholdene* (Stenius mfl., 2021).

Tilsigsseriene fra NVE databasen må alltid kontrolleres for hvordan de er beregnet, før de benyttes i en flomberegning. Dette kan gjøres ved bruk av programmet Hysopp (vedlegg 1.3).

3.1.4 Konstruerte vannføringsserier

Ved mangel på observert vannføringsdata for aktuelt beregningspunkt kan en konstruert tidsserie gi stor nytteverdi.

Hvis det for eksempel foreligger data fra to elver som møtes, kan man konstruere en dataserie for elven nedstrøms samløpet. I dette tilfellet kan tidsserien lages ved først å skalere de to seriene til å representere vannføringene umiddelbart oppstrøms samløpet. Deretter adderes tidsseriene. Den konstruerte serien vil da kunne gi et godt anslag på vannføringsforholdene ved samløpet.

Hvis det finnes vannføringsdata fra hovedelva oppstrøms og nedstrøms samløpet kan tilsvarende konstruksjon av vannføringsserier gjøres for å anslå vannføring i en større sideelv. Slike «differanse-serier» kan være følsomme for feil eller unøyaktigheter i data og må sjekkes nøye. Det bør sjekkes at resultatene harmonerer med ev. andre observasjoner av vannføring i vassdraget. Et alternativ kan også være å bruke data fra en representativ målestasjon i et nærliggende vassdrag (se også 3.1.5). Data må i så fall skaleres etter midlere årsavløp eller feltareal.

Tidsserier kan også konstrueres for å beskrive overføringer, ved å skalere vannføring fra en representativ målestasjon.

Korte tidsserier, eller perioder med observasjonsbrudd, kan forlenges/kompletteres ved bruk av for eksempel regresjonsmodeller eller nedbør-avløpsmodeller. Det advares mot ukritisk bruk av slike tidsserier, spesielt i flomperioder.

Selv om det kan være stor usikkerhet knyttet til konstruerte serier, vil de sammen med andre metoder være et nyttig supplement i en analyse for å anslå flomverdier.

3.1.5 Vurdering av representativ målestasjon for umålte felt

I umålte felt er det viktig å finne en representativ målestasjon. Ulike nedbørfelt kan respondere svært ulikt på nedbør, og feltets selvreguleringsevne i kombinasjon med klimatiske forhold er derfor viktige faktorer å vurdere når man skal finne representative tidsserier til bruk i flomberegningen.

Det kan være utfordrende å finne en representativ målestasjon. Derfor er det viktig å vurdere de ulike feltegenskapene til flere stasjoner i forhold til hverandre for å finne den mest representative stasjonen. Selv om man mangler representative målestasjoner kan flomestimat fra andre stasjoner sammen med en vurdering av deres feltegenskaper og klimatiske forhold, bidra til å avgrense flomestimatet for det umålte feltet. I en flomberegning skal valg av sammenligningsstasjoner alltid begrunnes.

Hva som vurderes som en representativ stasjon er også avhengig av hva som skal estimeres. Det anbefales derfor å starte med et bredt utvalg av stasjoner. Ved vurdering av middelflom bør feltets selvreguleringsevne (feltets respons på nedbør) og klimatiske forhold (avrenning) vektlegges mer enn lengden på tidsserien. Ved vurdering av vekstkurve (forholdet mellom middelflom/indeksflom og flommer med høyere gjentaksintervall) er tidslengde på måleserien og klimatiske forhold i de fleste tilfeller viktigere enn de fysiske feltegenskapene. For vurdering av middelavrenning (spesifikk avrenning) er klimatiske forhold oftest viktigere enn feltets fysiske egenskaper, og observerte data fra nærliggende vannføringsstasjoner bør vurderes opp mot gjeldende avrenningskart. Vær oppmerksom på benyttet tidsperiode når man sammenligner observasjoner med verdier fra avrenningskartet og tilhørende normalperiode (eks. 1961-1990 vs. 1991-2020).

[NVE Seriekart](#) er et velegnet verktøy for å finne målestasjoner innen et definert geografisk område og identifisere representative og sammenlignbare stasjoner/tidsserier. I NVE Seriekart kan man filtrere og sortere på feltegenskaper, tidsperioder m.m. og få eksportert utvalget i ønsket format. For flomberegninger anbefales det å ta utgangspunkt i tidsserier som har blitt brukt til utvikling av regionale formelverk (Engeland mfl., 2016), fordi tidsseriene har gjennomgått en kvalitetskontroll⁴. Rapporten (Engeland mfl., 2016) er ikke komplett og stasjoner som ikke inngår kan også vurderes brukt.

⁴ Rapporten er et godt utgangspunkt, men data derfra må fremdeles kontrolleres på lik linje med andre data. Merk at det kan være flere stasjoner som har fått gode flomdata etter 2016 (forbedret vannføringskurve, lengre tidsserie etc). Bruk alltid nyeste data, flomberegninger er en ferskvare.

Når representative målestasjoner skal velges anbefales det å vurdere følgende punkter:

- **Regulert eller ikke regulert** (eventuell reguleringsgrad). I utgangspunktet kan kun uregulerte tidsserier fungere som representative målestasjoner. Vær likevel oppmerksom på at noen stasjoner som er regulert, likevel kan være ok å benytte i flomberegninger hvis flomdata ikke er berørt av reguleringene i stor grad.
- **Feltareal**
- **Effektiv sjøprosent**
- **Snaufjellandel**
- **Breandel**
- **Medianhøyde i feltet**
- **Årlig middelavrenning (spesifikk avrenning)**
- **Klimatiske forhold:** En representativ stasjon bør ligge i et tilsvarende klima som feltet man skal gjøre flomberegning for. Følgende pkt. kan vurderes: Årlig middelavrenning, flomgenererende prosesser/sesong, nærhet til kyst vs. innland, høyde over havet, passe på skarpe skiller i nedbørgradient (eks. nord/sør vs. øst/vest på Vestlandet)

Valg av hvilke målestasjoner som inngår i den endelige flomberegningen vil i tillegg avhenge av

- **lengde** på tidsserien
- **tidsperiode**
- **tidsoppløsning** på tidsserien
- **datakvalitet:**
 - o Vannføringskurve
 - o Kvalitet på vannstandsregistreringer
 - o Antall, fordeling og kvalitet på punkter på vannføringskurven (vannføringsmålinger)
 - o Bestemmende profil (Er profilet stabilt eller ikke?)
 - o Kontinuitet i serien (Er det mange hull?)
 - o Is- eller driftsutfordringer.

3.2 Meteorologiske data

Nedbør- og temperaturdata er viktige i hydrologiske analyser og ekstremnedbør inngår ofte når en utfører flomberegninger, spesielt i tilknytning til nedbør-avløpsmodellering. Nedbør har historisk sett blitt målt en eller to ganger per døgn,

men for mange formål (eksempelvis flomberegninger) er det ofte nødvendig med målinger med finere tidsskritt. Det har siden slutten av 1960-tallet blitt installert mange målestasjoner som måler nedbør på tidsoppløsning ned mot 1 minutt. Meteorologisk Institutt har utarbeidet en innsynsløsning [seKlima](#), som gir oversikt over tilgjengelige nedbør- og temperaturdata fra Meteorologisk Institutt.

Norge er et land med store variasjoner i topografi og klima. Analyser av de høyeste observerte nedbørintensitetene viser at det er store regionale forskjeller i ekstremnedbør i Norge og at områdene hvor en observerer de høyeste intensitetene endrer seg avhengig av hvilken varighet en ser på. For mer informasjon om ekstremnedbør i Norge kan en besøke Norsk Klimaservicesenter sine sider om [Kraftig nedbør](#), og det anbefales å lese rapporten *Dimensjonerende kortidsnedbør* (Førland mfl., 2015).

3.2.1 Beregning og bestilling av ekstremnedbør og PMP

For nedbørvarigheter inntil 24 timer og gjentakintervall opp mot 200 år kan en finne resultater fra ekstremverdianalyser, såkalte IVF-verdier (Intensitet-Varighet-Frekvens-verdier), på Norsk Klimaservicesenter sine sider. For varigheter lengre enn døgn og gjentakintervall over 200 år, må det bestilles analyser direkte fra Meteorologisk Institutt (klima@met.no). NVE har i samarbeid med Meteorologisk institutt utarbeidet en generell arbeidsgang for å finne IVF-verdier til bruk i flomberegninger. Anbefalingene finnes hos [Norsk Klimaservicesenter](#) og er gjengitt i Vedlegg 1.6. Norsk Klimaservicesenter har utarbeidet en egen kartløsning hvor resultater fra ekstremverdianalyser på nedbør er tilgjengeliggjort. Kartløsningen finnes på siden [Seklina Nedbørintensitet \(IVF-verdier\)](#).

Nedbørverdier med gjentakintervall over 200 år og påregnelig maksimal nedbør (PMP) beregnes av Meteorologisk institutt eller en annen meteorologisk institusjon, som kan dokumentere en faglig god beregningsmetodikk. Dersom de beregnede ekstremnedbørverdiene virker urimelige, anbefales det å kontakte utførende institusjon.

3.2.2 Konvertering fra punkt- til arealnedbør (ARF)

Beregnet ekstremnedbør er vanligvis en representativ punktverdi for nedbørfeltet. Det betyr at det i en nedbørsituasjon vil falle mer nedbør enn punktverdien i deler av feltet og mindre i andre deler. Punktverdien må derfor omregnes til arealverdi, dvs. justeres for «samtidighet», ved hjelp av arealreduksjonsfaktorer (ARF) som oppgis av Meteorologisk institutt. Anbefalinger knyttet til konvertering fra punkt til areal finnes på hjemmesidene til Norsk Klimaservicesenter om [Kraftig nedbør](#) og er gjengitt i Vedlegg 1.9.

3.2.3 Temperatur (for bruk til snøsmelting)

Temperaturverdier for beregning av snøsmelting kan bestilles fra Meteorologisk institutt. For Sør-Norge kan slike temperaturverdier estimeres fra kart gitt i Førland & Tveito (1997).

3.3 Snø

Målestasjoner med observasjoner av snødyp er tilgjengelig gjennom kartapplikasjonen [seKlima](#) hos Norsk Klimaservicesenter. I tillegg finnes det observerte snødata både hos NVE og hos enkelte regulanter.

Et godt hjelpemiddel for å vurdere snøforholdene er landsdekkende snøkart som finnes på [seNorge](#). Kartene er beregnet ut fra daglige nedbør- og temperaturobservasjoner fra 1958 til i dag.

Nedlastning av data fra [Xgeo](#) og [seNorge](#) kan gjøres ved hjelp av [NVEs GTS API](#). Ellers er [NVE Seriekart](#) og [Sildre](#) inngangsporter til målte snødata. Hvordan inkludere snøsmelting i en flomberegning beskrives i kap. 4.3.2.2.

4 Beregning av flomstørrelse

Ved beregning av flomvannføring kan ulike metoder benyttes. Metodene deles gjerne inn i to hovedgrupper: flomfrekvensanalyser og nedbør-avløpsmetoder. En generell introduksjon til metodene ble gitt i kap. 2.3.

Kap. 4.1 er ment å gi en oversikt over de mest brukte metodene for flomberegning i Norge pr. i dag og anbefalte bruksområder. Kap. 4.2 Flomfrekvensanalyser og 4.3 Nedbør-avløpsmetoder gir en mer detaljert veiledning for estimering av flomstørrelsene utfra tilgjengelig datagrunnlag eller formål med flomberegningen. Merk at kap. 4.2.7.1 Varighet og 4.2.7.2 Tidsskritt som ligger under kapitlet Flomfrekvensanalyser også gjelder for nedbør-avløpsmetodene. Alle metoder, for å estimere ekstreme flommer, er beheftet med stor grad av usikkerhet. For vurdering av flomestimat og usikkerhet, se kap.0.

4.1 Valg av beregningsmetode

Valg av metode vil avhenge av formålet med flomberegningen (f.eks. damsikkerhet eller reguleringsplan), hvilket gjentaksintervall det skal beregnes for (Q_T / PMF), tilgjengelig datagrunnlag og/eller feltegenskapene til analysefeltet.

Tabell 4 gir en oversikt over de mest brukte metodene for beregning av flomstørrelser i Norge med anbefalte arealbegrensninger, hvilken tidsoppløsning metoden egnert seg for og hvilket gjentaksintervall metoden anbefales brukt for.

Tabell 4. Anbefalt bruk av de vanligste metodene for beregning av flomstørrelser.

Metode	Formelverk (regional flomfrekvensanalyse):		Frekvens-analyser	Nedbør-avløpsmetoder:	
	RFFA-NIFS	RFFA-2018		PQRUT	Den rasjonelle metode
areal begrensninger	< 60 km ^{2 1)}	alle ²⁾	alle	2 - 800 km ^{2 3)}	< 2 km ^{2 4)}
tids-oppløsning	kulminasjon	døgn eller kulminasjon	alle	time/døgn	kulminasjon
Q _M	x	x	x		(x)
Q ₅ - Q ₁₀₀	x	x	x	(x)	x
Q ₂₀₀	x	x	x	x	x
Q ₅₀₀		x	x	x	(x)
Q ₁₀₀₀		x	x	x	
PMF				x	

1) Kan brukes med forsiktighet for felt opp til 100 km²

2) Kan benyttes for alle feltstørrelser, men ved beregning av kulminasjonsverdier for små felt (< 60 km²) anbefales det å bruke RFFA-NIFS opptil Q₂₀₀.

3) Arealbegrensninger er omtrentlige, mer om bruksområder til PQRUT i kap. 4.3.1.2.1.

4) Anbefalt bruksområde er ifølge Fergus mfl. (2010) er opp til 0,5 km², men tradisjonelt har metoden blitt benyttet for større felt. Etter krav i Håndbok V240 (Vegdirektoratet, 2020) skal metoden ikke benyttes for felt med areal over 2 km².

4.2 Flomfrekvensanalyser

Flomfrekvensanalyser (FFA) er statistiske analyser som relaterer flomvannføringer fra en tidsserie til gjentaksintervaller (for eksempel 200-årsflom). Flomfrekvensanalyser kan utføres på observerte flomdata fra enkeltstasjoner, tilsigsserier eller konstruerte dataserier. Dersom det ikke foreligger lokale flomdata, må data fra sammenligningsstasjoner eller formelverk (regional flomfrekvensanalyse, RFFA) benyttes for å estimere flomverdier. For tilfeller hvor det foreligger få år med lokale data, kan man kombinere lokale data med regional flomfrekvensanalyse (lokal + regional flomfrekvensanalyse).

Anbefalingene for utførelse av flomfrekvensanalyser er basert på resultatene i Engeland mfl. (2020) og er utarbeidet for å gi robuste estimater av flomekstremere, ut ifra varierende grad av datatilgjengelighet.

Under beskrives anbefalinger for valg av ekstremverdifordeling, formelverk, samt en anbefaling for hvordan en bør kombinere lokale og regionale analyser avhengig av tilgjengelig datagrunnlag.

Overordnet anbefales det at flomfrekvensanalyser utføres på årsflommer som en kombinasjon av lokale og regionale analyser, hvor de lokale observasjonene vektas basert på tidsseriens lengde.

Ved beregning av middelflom (Q_M) og vekstkurve (Q_T/Q_M : forholdstall mellom Q_M og høyere gjentaksintervall Q_T) er det viktig å sammenligne resultatene fra ulike fremgangsmåter. Eksempelvis bør resultater fra flomfrekvensanalyser basert på lokale data (observasjoner i vassdraget), sammenlignes med flomfrekvensanalyser fra representative stasjoner og/eller resultater fra formelverk (regional flomfrekvensanalyse).

Mange av NVEs vannføringsserier har lengre tidsserier med døgnoppløsning, enn oppløsning finere enn døgn (findata). Derfor utføres ofte flomfrekvensanalysene på døgnverdier. Flommens kulminasjonsvannføring (momentanvannføringen) kan være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Dette er spesielt karakteristisk for små vassdrag med rask flomstigning og spisse flomforløp. Døgnverdien må derfor konverteres til en kulminasjonsverdi ved hjelp av en kulminasjonsfaktor (forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelverdi, $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$), se kap. 4.2.5.

4.2.1 Lokal flomfrekvensanalyse

I noen tilfeller kan det være aktuelt å utføre en ren lokal flomfrekvensanalyse. Dette kan for eksempel være ved analyser på kulminasjonsdata, data med varighet på to eller flere døgn, tilsigsserier eller andre konstruerte eller regulerte tidsserier. Lokal flomfrekvensanalyse er også aktuelt hvis en ikke har tilgang til NVEs Hydra II og Flomanalyse-programmet (vedlegg 1.3), der *full lokal + RFFA* er implementert. Ut fra en systematisk evaluering av problemstillinger knyttet til lokal flomfrekvensanalyse (Engeland mfl., 2020) anbefales følgende tilnærming:

- Valg av fordeling ut fra lengde på tidsserie:
 - o Bruk 3-parameterfordeling (GEV) for mer enn 50 år med data
 - o Bruk Gumbel-fordeling for 25-50 år med data
- Annet:
 - o Har man mer enn 25 år med kulminasjonsflomdata, bør man tilpasse Gumbel eller GEV-fordeling direkte på kulminasjonsdata selv om man har lengre tidsserier med døgndata.⁵
 - o Bruk *Bayesiansk metode*⁶⁷ eller *l-moment metode* for å beregne parametrene i de statistiske fordelingene.
 - o Bruk Gringerton plotteposisjon.

⁵ Resultatene bør alltid vurderes opp mot resultater fra representative stasjoner og flomestimat fra lengre tidsserier med døgndata (omgjort til kulminasjonsverdier via $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$), hvis data finnes.

⁶ Bayesiansk metode med informativ á-priori fordeling.

⁷ Bayesiansk metode vil ikke gi eksakt samme resultat hver gang den brukes. Grunnen er de stokastiske egenskapene til (MCMC) algoritmen som brukes for estimering.

4.2.1.1 Frekvensanalyser på regulerte vannføringsserier

For steder med lange tidsserier etter at vassdragsreguleringer er satt i drift, kan man utføre statistiske analyser direkte på regulerte data (data samlet inn etter at reguleringene startet). Dette kan også gjøres for å sammenligne flomfrekvensfordelinger før og etter vassdragsreguleringer, for deretter å kunne analysere hvor mye vassdragsreguleringene har endret flomstørrelsene. Utfordringer med denne tilnærmingen er bla. at tidsserier for flommer ikke nødvendigvis er stasjonære i den regulerte perioden. Ofte skjer utbygginger i et vassdrag gradvis, slik at reguleringsgrad og manøvreringsstrategi endrer seg over tid. Manøvreringen vil også kunne variere fra flomepisode til flomepisode, og påvirke flomstørrelsene i mindre og større grad. Tidsserier fra kun uregulert- eller regulerte periode, kan være forholdsvis korte, og dermed ikke lange nok for frekvensanalyser for høye gjentakintervall.

I mange regulerte vassdrag er små naturlige flommer i stor grad dempet. Prosessene som skaper flommer er varierende og er forskjellige fra et uregulert vassdrag, og i noen tilfeller kan flommen også skyldes reguleringen. Terskeeffekter er ofte til stede. For eksempel kan magasin med stor lagringskapasitet dempe flommen helt eller delvis, mens fulle magasin gir liten demping og i noen tilfeller også bidra til økt flom nedstrøms magasinet. I vassdrag dominert av smelteflommer, kan flomsesongen flyttes til høsten og dermed vil de fleste flommene bli skapt av regnhendelser istedenfor snøsmelting. Dette bryter med premissene for standard frekvensanalyser.

Metoder for beregning av flommer med høye gjentakintervall bør kunne representere de prosessene som er framtrepende og drivende for store flommer i et regulert vassdrag. Det kan f.eks. være forskjellige prosesser som styrer de små og store flommene i det regulerte vassdraget. Hallberg mfl. (2016) anbefaler derfor å bruke miksede frekvensfordelinger, f.eks. en blanding av to Gumbel-fordelinger.

Regulerte vannføringsserier kan i mange tilfeller egne seg godt til å beregne flommer med lave gjentakintervall. For høye gjentakintervall bør man bruke dataene med mer forsiktighet. Det er fornuftig å sammenligne regulerte flomverdier med beregninger av uregulerte flomverdier for samme sted. En mye brukt antakelse er at ved de største flommene, vil flommene nærme seg uregulert tilstand (slik det ville vært i vassdraget før reguleringen). I vassdrag med lav reguleringsgrad vil dette være en ok tilnærming. I vassdrag med høy reguleringsgrad-magasin, bør man vurdere om reguleringene har dempende effekt selv på de største flommene.

De ekstreme flommene dempes generelt i mindre grad enn store flommer, men ved stor ledig magasinkapasitet kan vassdragsreguleringer fremdeles ha en dempende effekt, selv på de mest ekstreme flomhendelsene (Stenius m.fl. 2021). Svært forenklet viste eksemplene i Stenius mfl. (2021) at ledig magasinkapasitet på 5 – 10 % ved flommens start, gir en reduksjon på avløpsflommene med 10 – 20 %.

Flomfrekvensanalyser på regulerte vannføringsserier bør utføres i tråd med anbefalingene gitt i kapittel 4.2.1 Lokal flomfrekvensanalyse.

4.2.1.2 Frekvensanalyse på vannstandsdata

Flomfrekvensanalyser utføres vanligvis på vannføringer, og regnes om til vannstander ved bruk av en vannføringskurve. En årsak til dette er at vannføringer er

sammenlignbare nedover et vassdrag og fra en elv til en annen, dette i motsetning til vannstander som kun sier noe om forholdene lokalt. Hvis målingene av vannstand gjøres i en stor innsjø, kan målingene også være representative for området rundt sjøen.

Enkelte steder har imidlertid lange tidsserier av vannstand i en innsjø, uten at det foreligger en tilhørende vannføringskurve til vannstandsserien. I slike tilfeller kan det være nyttig å utføre flomanalyser direkte på vannstander. Resultatene bør, om mulig, vurderes mot resultater fra andre metoder. Dette kan gjøres for eksempel ved å beregne tilløpsflommer til den aktuelle innsjøen med ulike gjentakintervaller, som så rutes gjennom innsjøen for beregning av flomvannstander.

Ved analyse direkte på vannstand er det viktig å undersøke at det ikke har skjedd endringer i utløpet som påvirker de observerte flomvannstandene vesentlig. Dette kan for eksempel være naturlige profilendringer som følge av erosjon/sedimentasjon, eller menneskelige inngrep, som utsprengning/oppfylling eller dambygging. For en vannføringsserie er slike endringer hensyntatt ved revisjon av vannføringskurven.

4.2.2 Historisk flom-informasjon

Informasjon om flomhendelser, før en startet med systematiske registreringer av vannstander, kan gi en merverdi for flomanalysene (Engeland mfl., 2020). Slik informasjon kan være nyttige både ved lokal analyse av flomvannstander, men også ved frekvensanalyse av flomvannføringer.

For å ta i bruk historisk flominformasjon i en flomfrekvensanalyse, er det viktig å kunne ta ut flomhøyder som man kan bruke for å beregne flomvannføringer. Flomhøyder avmerket på steiner, svaberg, bygninger, broer e.l. er derfor svært nyttige. Også beskrivelser av hvor høyt vannet har stått i terrenget er nyttig.

For å kunne bruke historisk informasjon i ekstremverdianalyser, må en kjenne til alle flommer som overskrider en høy terskelverdi over en gitt periode. Antall flommer, og helst størrelsen, over terskelen må være kjent. En systematisk analyse av slike data har potensial til å vise både størrelsesorden og utbredelsen av store historiske flomhendelser. Både ved analyse av historiske flomvannstander og flomvannføringer må man kjenne til de hydrauliske forholdene i vassdraget over tid for å kunne vurdere om for eksempel utløpsforhold fra en innsjø har vært stabile eller ikke.

I vassdrag uten målinger kan også registrerte vannstander fra en kjent stor flom bidra som støtte til resultatene i en flomberegning. Også her forutsetter man at en hydraulisk modell kan gi et estimat på flomstørrelsen, og at de hydrauliske forholdene i vassdraget over tid er kjent (f.eks. endringer av utløpsforhold ved et vann).

Historisk informasjon om flommer i Norge kan man bla. finne i boken *Flom i Norge* (Roald, 2013), i rapporten *Floods in Norway* (Roald 2021) og på NVEs nettside [Flomhendelser](#).

Det anbefales at tilgjengelig historisk informasjon deles med NVE slik at data kan legges inn i Flomanalyse-programmet i NVEs Hydra II.

4.2.3 Formelverk (regional flomfrekvensanalyse)

To ulike formelverk (regional flomfrekvensanalyse, RFFA) anbefales brukt når en utfører flomberegninger i Norge, hhv. RFFA-2018 og RFFA-NIFS.

Formelverk RFFA-2018

Formelverket RFFA-2018 inkluderer ligninger for å beregne medianflom, vekstkurver (forholdstall mellom middelflom Q_M og høyere gjentakintervaller Q_T) og forholdstalle mellom kulminasjonsflom og døgnmiddelflom (kulminasjonsfaktor, $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) i umålte felt. Formelverket kan benyttes for alle nedbørfeltstørrelser, men ved beregning av kulminasjonsverdier for små felt ($< 60 \text{ km}^2$) anbefales det å bruke RFFA-NIFS, opp til og med Q_{200} , istedenfor.

Feltparametre og parametre som beskriver klimatiske forhold, som kan beregnes fra kart og hentes ut fra nasjonale datasett, brukes for å beregne medianflom, vekstkurver og kulminasjonsfaktor $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$.

Formelverket er implementert i nedbørfeltanalyseprogrammet [NEVINA](#). Analysene som ligger til grunn for formelverket og tilhørende anbefalinger er beskrevet i Engeland mfl. (2020).

Formelverk RFFA-NIFS

Formelverket RFFA-NIFS er utarbeidet for å estimere kulminasjonsflomverdier i små uregulerte nedbørfelt (areal $< \text{ca. } 60 \text{ km}^2$) og inkluderer ligninger for å beregne middelflommen (Q_M) og vekstkurven. Formelverket ble utviklet for å estimere flomstørrelser opp til og med 200-års gjentakintervall.

For høyere gjentakintervaller (eksempelvis Q_{500} og Q_{1000}), bør vekstkurven fra RFFA-2018 og representative stasjoner i området tillegges mer vekt. Vekstkurven fra RFFA-NIFS kan bli veldig bratt for de høyeste gjentakintervallene.

Formelverket gir kun estimater for kulminasjonsverdier og er implementert i [NEVINA](#). Analysene som ligger til grunn for formelverket er beskrevet i Glad mfl. (2015).

4.2.4 Lokal + regional flomfrekvensanalyse

Som nevnt innledningsvis i kapittel 4.1, anbefales det at flomfrekvensanalyser utføres på årsflommer som en kombinasjon av lokale og regionale analyser. I analysene vektet de lokale observasjonene avhengig av lengden på tidsserien. Under beskrives de to typene analyser hvor lokale data kombineres med regional analyse (formelverk).

Forenklet lokal + RFFA: Middel-/medianflom (indeksflom) beregnes som et vektet gjennomsnitt av lokale flomdata og formelverk (regresjonsligningen for indeksflom i RFFA) og kombineres med vekstkurven fra formelverk (RFFA-NIFS eller RFFA-2018). Dette kan f.eks. gjøres i [NEVINA](#) ved å manuelt legge inn en kort serie med årsflommer. Det er implementert to ulike analyser i NEVINA: *forenklet lokal + RFFA-NIFS* (brukes for små felt og kulminasjonsdata) og *forenklet lokal + RFFA-2018* (brukes for større felt med døgndata).

Bruk av selv korte serier med lokale data, reduserer usikkerheten i estimatene fra RFFA betydelig (Engeland mfl., 2020).

Full lokal + RFFA: Bruk Bayesiansk tilnærming for å estimere parametrene i GEV-fordelingen. Lokale flomdata, sammen med førkunnskap fra RFFA-2018, brukes for estimering av både indeksflom og vekstkurve. Førkunnskapen kommer fra erfaringsgrunnlaget til den regionale modellen (RFFA-2018), og der feltegenskaper til nedbørfeltet inngår. Flomanalyse-programmet i NVEs Hydra II-system (vedlegg 1.3) har denne løsningen implementert. Per dags dato er denne løsningen kun utarbeidet for døgndata, men NVE jobber med å implementere løsningen også for findata.

4.2.5 Forholdstall mellom kulminasjon og døgnmiddelflom

Hvis flomfrekvensanalysene i utgangspunktet er utført på døgndata, må man i de fleste tilfeller også estimere flommenes kulminasjonsvannføring. Dette er spesielt viktig for små vassdrag med rask flomstigning og spisse flomforløp.

Smelteflommer karakteriseres av relativt lang varighet og stort volum. Dette gir normalt en mer moderat forskjell mellom kulminasjons- og døgnmiddelflommen enn for regndominerte flommer. For flommer dominert av regn, er avrenningen til elva raskere og forløpet spissere, og dermed blir kulminasjonsfaktoren normalt større.

I vassdrag med stor effektiv sjøprosent er flomdempningen stor i forhold til i vassdrag med lite sjøareal. Kulminasjonsfaktoren er derfor oftest atskillig mindre i vassdrag med høy effektiv sjøprosent sammenlignet med vassdrag med liten effektiv sjøprosent.

I felt hvor flomepisoder opptrer både vår og høst og er forårsaket av enten snøsmelting, regn eller en kombinasjon av disse, vil forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring variere fra flomepisode til flomepisode.

Siden NVEs database regner døgnmiddelve verdier (00-24) og ikke høyeste 24 timers døgnmiddel, kan forholdstallet ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) bli unaturlig lavt hvis flommen kulminerer rundt midnatt.

Kulminasjonsvannføringen kan generelt beregnes på to ulike måter:

- i) Direkte gjennom flomfrekvensanalyse på tidsserier med kulminasjonsverdier eller formelverket RFFA-NIFS
- ii) Via døgnmiddelve verdier som skaleres med et forholdstall/kulminasjonsfaktor ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) for å beregne kulminasjonsverdiene.

Forholdstallet skal fortrinnsvis anslås ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet mellom observert kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget, eller eventuelt i nærliggende vassdrag, avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning.

Forholdstallet kan også estimeres ut fra formelverket RFFA-2018 (Engeland, mfl., 2020).

Et annet alternativ kan være å beregne forholdstallet $Q_{M_{\text{kulm}}}/Q_{M_{\text{døgn}}}$ og/eller $Q_{T_{\text{kulm}}}/Q_{T_{\text{døgn}}}$ fra periode med både kulminasjons og døgndata. Videre kan

forholdstallet brukes til å konvertere døgnverdier, fra analyser på lengre tidsserier med døgnmidler, til kulminasjonsverdier.

Ut fra erfaring ser forholdstallet generelt ut til å øke med økende gjentaksintervall, men dette er ikke dokumentert godt nok og det anbefales derfor å bruke samme forholdstall uavhengig av gjentaksintervall. Dette kan være en av grunnene til at vekstkurven for NIFS formelverk er brattere sammenlignet med vekstkurven til RFFA-2018.

4.2.6 Anbefalt arbeidsgang for flomfrekvensanalyser

I alle flomberegninger anbefales det å få oversikt over hva som finnes av hydrologiske data i området. Resultatene, uavhengig om de er fra lokal flomfrekvensanalyse, formelverk eller en kombinasjon, bør alltid vurderes med resultater fra sammenlignbare stasjoner. Tips til hvordan vurdere om en målestasjon har en representativ tidsserie, se kapittel 3.1.5.

Ved utførelse av flomfrekvensanalyser er det mange mulige måter å kombinere lokale og regionale data på. Lange serier med lokale flomdata av god kvalitet tillegges gjerne mer vekt enn regionale analyser. Ofte finnes det vesentlig lengre tidsserier på døgndata enn det som er tilgjengelig av findata. Derfor bør analyser av lange tidsserier på døgndata som regel inngå i flomberegningen, selv om det foreligger mange år med kulminasjonsdata og resultatene skal representere en kulminasjonsverdi.

Arbeidsgangen beskrevet under er også oppsummert i Tabell 5 og Tabell 6, og er lett omskrevet versjon av det som står i Engeland mfl. (2020).

Arbeidsgang - døgnmiddelflom

Anbefalt arbeidsgang (Engeland mfl., 2020) for beregning av døgnmiddelflom, ut fra tilgjengelige lokale data, er oppsummert i punktlisten nedenfor og i Tabell 5.

- 1) Ingen lokale data, bruk formelverk RFFA-2018.
- 2) Færre enn 10 år med lokale data, bruk *forenklet lokal* + RFFA-2018.
- 3) Mer enn 10 år med lokale data, bruk *full lokal* + RFFA-2018.

Det er også utviklet en metode for å ta i bruk historisk flominformasjon (Engeland mfl., 2020). Denne metoden baserer seg på at man må kjenne alle flommer som overskrider en viss terskel over en gitt periode, enten antallet flommer eller størrelsen på flommene. Det anbefales å utføre beregninger både med og uten historisk informasjon der denne er tilgjengelig. For mer informasjon om bruk av historiske data se kapittel 4.2.1.2 og Engeland mfl. (2020).

Tabell 5. Anbefalingsmatrise for flomfrekvensanalyser, døgnmiddelflom (Engeland mfl., 2020)

Datagrunnlag	Medianflom (middelflom/indeksflom)	Vekstkurve	Verktøy
Ingen lokale data	RFFA-2018	RFFA-2018	NEVINA
< 10 år	Forenklet lokal + RFFA-2018	RFFA-2018	NEVINA *
> 10 år	Full lokal + RFFA-2018	Full lokal + RFFA-2018	Flomanalyseprogram i Hydra II**
Historiske data	Full lokal + RFFA-2018	Full lokal + RFFA-2018	Flomanalyseprogram i Hydra II**

* Forenklet lokal + regional analyse er implementert i NEVINA

** For mer informasjon om Flomanalyse-programmet og Hydra II se vedlegg 1.3

+Arbeidsgang - kulminasjonsflom

Som nevnt tidligere er RFFA-NIFS utviklet for å estimere flomstørrelser opp til 200-års gjentaksintervall. For høyere gjentaksintervaller bør vekstkurven fra RFFA-2018 og representative stasjoner i området tillegges mer vekt enn vekstkurven fra RFFA-NIFS, da denne kan bli veldig bratt for de høyeste gjentaksintervallene.

For beregning av kulminasjonsflom gis anbefalinger ut fra tilgjengelig lengde på lokale data, oppløsning på dataene og størrelsen til nedbørfeltet. Anbefalingene følger Engeland mfl. (2020), se punktlisten nedenfor og Tabell 6. For enkelte kombinasjoner av data kommer Engeland mfl. (2020) ikke med entydige anbefalinger. I slike tilfeller må ulike tilnærminger forsøkes for så å vurdere hvilken man mener gir mest rimelige resultater.

- 1) Ingen lokale data:
 - a) Store felt ($> 60 \text{ km}^2$) => formelverk RFFA-2018
 - b) Små felt ($< 60 \text{ km}^2$) => formelverk RFFA-NIFS
- 2) Ingen kulminasjonsdata og mindre enn 10 år med døgndata:
 - a) Store felt ($> 60 \text{ km}^2$) => *forenklet lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} \Rightarrow \text{RFFA-2018}$.
 - b) Små felt ($< 60 \text{ km}^2$) => teste ulike metoder:
 - i) Formelverk RFFA-NIFS
 - ii) Sammenlign med: *forenklet lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} \Rightarrow \text{RFFA-2018}$.
 - iii) Sammenlign med representative målestasjoner
- 3) Mindre enn 10 år med kulminasjons- og døgndata:
 - a) Store felt ($> 60 \text{ km}^2$) => *forenklet lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ fra observasjoner.
 - b) Små felt ($< 60 \text{ km}^2$) => *forenklet lokal + RFFA-NIFS*

- 4) 10-25 år med kulminasjonsdata og 10-50 år med døgndata, bruk ulike tilnærminger:
 - a) Store felt ($> 60 \text{ km}^2$) => ulike tilnærminger:
 - i) *full lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ fra observasjoner.
 - ii) Sammenlign med representative målestasjoner
 - b) Små felt ($< 60 \text{ km}^2$) => ulike tilnærminger:
 - i) *forenklet lokal + RFFA-NIFS*
 - ii) Sammenlign med: *full lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ fra observasjoner.
 - iii) Sammenlign med representative målestasjoner
- 5) 10- 25 år med kulminasjonsdata data og mer enn 50 år med døgndata:
 - a) Store felt ($> 60 \text{ km}^2$) => *full lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ => fra observasjoner.
 - b) Små felt ($< 60 \text{ km}^2$) => ulike tilnærminger:
 - i) *forenklet lokal + RFFA-NIFS*
 - ii) Sammenlign med: *full lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ fra observasjoner.
 - iii) Sammenlign med representative målestasjoner
- 6) > 25 år med kulminasjonsdata:
 - a) Lokal analyse (Gumbel eller GEV fordeling, se kap. 4.2.1)
 - i) Sammenlign med vekstkurve fra formelverk og/eller lengre sammenlignbare tidsserier
 - ii) Sammenlign med: *full lokal + RFFA-2018*. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ fra observasjoner.

Tabell 6. Anbefalingsmatrise for flomfrekvensanalyser - kulminasjonsflom (Engeland mfl., 2020). Anbefalingene tilsvarer punktlisten ovenfor, men det spesifiseres hvilken metode som ligger til grunn for indeksflom og respektiv vekstkurve. Anbefalt verktøy i kolonnen til høyre.

Ant. år med: fin-data	døgn - data	Areal (km ²)	Middel-/medianflom (indeksflom)	Vekstkurve	Forholdstall (Q _{mom} /Q _{døgn})	Verktøy
0 år	0 år	> 60 km ²	RFFA-2018	RFFA-2018	RFFA-2018	NEVINA ¹
		< 60 km ²	RFFA-NIFS	RFFA-NIFS	-	NEVINA ¹
0 år	< 10 år	> 60 km ²	Forenklet lokal + RFFA-2018	RFFA-2018	RFFA-2018	NEVINA ¹
		< 60 km ²	RFFA-NIFS*	RFFA-NIFS*	-	NEVINA
< 10 år	< 10 år	> 60 km ²	Forenklet lokal + RFFA-2018	RFFA-2018	Fra observasjoner	NEVINA ¹
		< 60 km ²	Forenklet lokal + RFFA-NIFS	RFFA-NIFS	-	NEVINA ¹
10-25 år	10-50 år	> 60 km ²	Full lokal + RFFA-2018*	Full lokal + RFFA-2018*	Fra observasjoner*	
		< 60 km ²	Forenklet lokal + RFFA-NIFS*	RFFA-NIFS*	-	
10-25 år	> 50 år	> 60 km ²	Full lokal + RFFA-2018	Full lokal + RFFA-2018	Fra observasjoner	Flom_analyse i Hydra II ²
		< 60 km ²	Forenklet lokal + RFFA-NIFS*	RFFA-NIFS*	-	
> 25 år	> 25 år	alle	Fra observasjoner.	Lokal Bayes. ³ kulm. verdier*	-	Flom_analyse i Hydra II ^{2,4}

¹) Forenklet lokal + regional analyse er implementert i NEVINA

²) For mer informasjon om Flomanalyse-programmet og Hydra II se vedlegg 1.3

³) Bruk Gumbelfordelingen ved < 50 år med data og GEV-fordelingen med > 50 år med data.

⁴) Dette kan også utføres i Ekstremverdianalyseprogrammet under Finut i Hydra II⁸

*det anbefales ulike tilnærminger, se punktlisten ovenfor (den som er med i tabellen er den antatt mest relevante).

4.2.7 Flomforløp

Metodene som er beskrevet ovenfor bestemmer maksimal flomvannføring. I mange situasjoner er det imidlertid nødvendig å bestemme et flomforløpet i tillegg. Dette kapittelet gir anbefalinger for hvordan man konstruerer et flomforløp slik at varighet og volum er tilpasset egenskapene til nedbørfeltet og ev. reguleringer i vassdraget. Dette er mest aktuelt der man skal utføre ruting gjennom en innsjø eller et magasin,

⁸ Fordelen med Flomanalyse-programmet sammenlignet med Ekstremverdiprogrammet er at den har en bayesiansk førkunnskap som er tilpasset simuleringer ifra regional modell (RFFA).

eller der man ønsker ta hensyn til flomdempning og transporttid ved beregning av flomverdier i ulike deler av et vassdrag.

Viktige stikkord som omtales er *varigheten* på forløpet, *utforming* av forløpet ut fra beregnet størrelse på kulminasjonsvannføring og *volumet* over tid, og hva som kan være en hensiktsmessig *tidsoppløsning* på dataene.

Kapittel 4.2.7.1 Varighet og kap. 4.2.7.2 Tidsskritt er også relevant ved bruk av nedbør-avløpsmetoder.

4.2.7.1 Varighet

Nødvendig varighet av et flomforløp bestemmes av nedbørfeltets feltegenskaper, og for regulerte vassdrag må også magasinets dempning av flommer (over HRV) tas hensyn til.

4.2.7.1.1 Kritisk varighet for reguleringsmagasiner

Ved ruting er det viktig at forløpet har lang nok varighet til at avløpsflommen rekker å nå kulminasjon (flomtopp), enten det gjelder i en stor elv, magasin eller innsjø. Dette er omtalt som kritisk varighet. For magasiner/innsjøer med fast overløp er det utarbeidet empiriske formler for å estimere kritisk varighet (V_M).

For magasiner med fast overløp kan kritisk varighet estimeres 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 km^2 , L er det faste flomløpets lengde i meter og C er overløpskoeffisienten. Q_i er tilløpsflom i m^3/s , midlet over varigheten V_M . V_M er relativt lite følsom for variasjonen i Q_i og Q_i kan som regel settes til fire ganger middelflom (Q_M) over ett døgn.

Samme kritiske varighet kan brukes for dimensjonerende flom og påregnelig maksimal flom (PMF). Formelen over er funnet ved å betrakte et magasin med initialvannstand på HRV, fast overløp og en tilløpsflom med konstant intensitet. V_M defineres som det tidspunkt hvor avløpsflommen har nådd opp i 80 % av tilløpsflommens intensitet.

4.2.7.1.2 Total varighet av forløpet

Når den totale varigheten til flomløpet skal bestemmes, må man ta hensyn til både feltets konsentrasjonstid (T_C), (for beregning⁹ av T_C , se vedlegg 1.6 og 1.7.3) og den kritiske varigheten til magasinet. Minste totale varighet av tilløpsflommen bør være:

$$1.5 \cdot (T_C + V_M)$$

⁹ Det finnes ulike metoder og empiriske formelverk for å estimere konsentrasjonstiden til et nedbørfelt. Noen formler er direkte knyttet til ulike metoder. Et utvalg av metoder er å finne i Håndbok V240 Vannhåndtering (Statens vegvesen, 2020). I flere tilfeller kan det også være nok å bruke en pragmatisk tilnærming. Når man gjør flomberegninger med PQRUT anbefales det å beregne konsentrasjonstiden, T_C , med en spesiell formel, se vedlegg 1.6.

Ved beregninger gjennom store innsjøer og magasiner er det viktig at man benytter tilstrekkelig lang varighet, slik at avløpsflommen rekker å kulminere i løpet av tidsrommet som er valgt.

Når man utfører dimensjonerende flomberegninger med nedbør-avløpsmodeller, anbefales det å ta utgangspunkt i et nedbørforløp på 24 timer for små- og mellomstore nedbørfelt uten betydelig flomdempning.

4.2.7.2 Tidsskritt

NVE anbefaler generelt at flomforløpene konstrueres med en oppløsning på 1 time. For svært raske felt og små magasiner, kan det være nødvendig med kortere tidsskritt. Ved lange forløp og trege systemer, kan man øke lengden på tidsskritt (f.eks. 3 timer eller mer).

Flomforløpet beskrives av en vannføring for hvert tidsskritt, med den tidsoppløsningen som er valgt.

4.2.7.3 Flomvolum ved varigheter over flere døgn

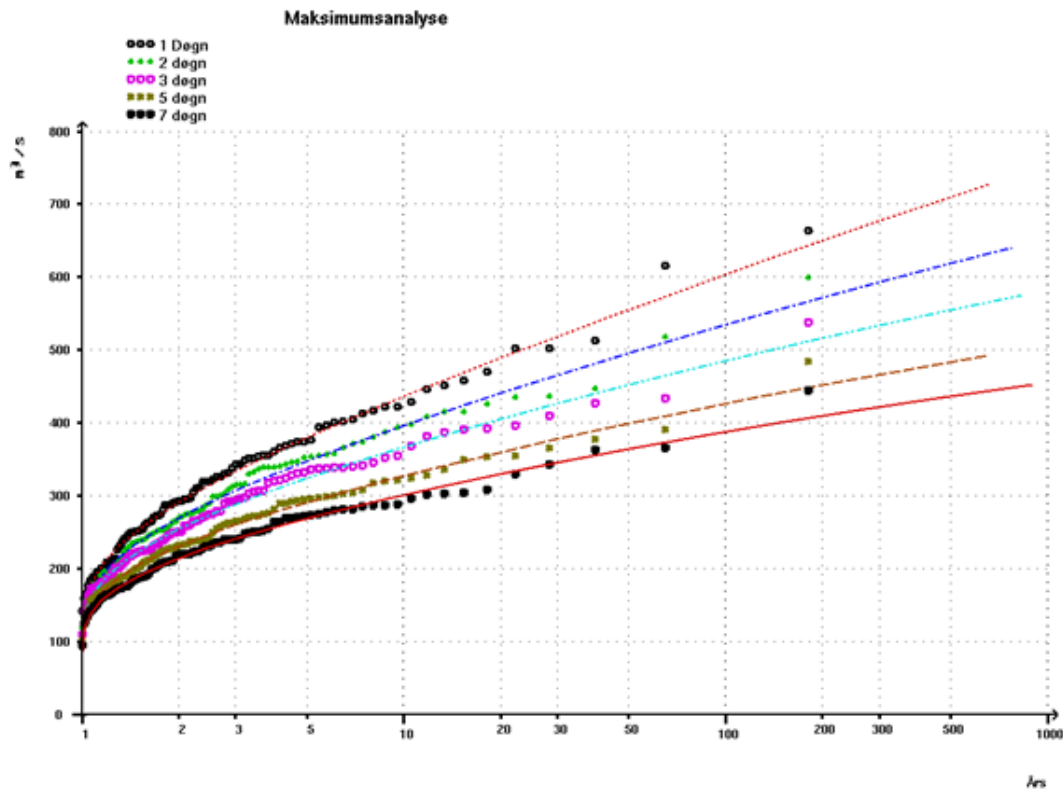
Ved flomberegninger for magasiner med betydelig demping, vil volumet av tilløpsflommen over forløpet ha stor betydning. Når total varighet er beregnet til mer enn ett døgn, er det derfor ekstra viktig å estimere flomvolum. Flomvolum må beregnes for den totale varigheten over flomforløpet, samt være tilpasset kritisk varighet til magasinet og ev. konsentrasjonstiden til nedbørfeltet.

4.2.7.3.1 Flomfrekvensanalyse av ulike varigheter

Flomvolumet over flere døgn kan i prinsippet beregnes på samme måte som døgnmiddelflommen. Figur 5 viser et eksempel på en flomfrekvensanalyse ved en målestasjon med utgangspunkt i varigheter fra 1 til 7 døgn. For å konstruere serier av ulike varigheter til flomfrekvensanalysen, kan det f.eks. benyttes glidende midling av døgnmiddelserien for de gitte varighetene.

Indeksflommen vil avta med økende varighet, mens frekvenskurven gjerne blir slakere. I beregningene må man påse at flomstørrelsene for et gitt gjentakintervall ikke øker med økende varighet og at verdiene virker rimelige.

Det finnes foreløpig ikke regionalt formelverk for beregning av flomverdier med varigheter på mer enn ett døgn. Det er ikke utarbeidet eller tilpasset Bayesiansk førkunnskap for lengre varigheter, slik at denne metoden må benyttes med forsiktighet. NVE anbefaler derfor data tilpasses ved bruk av f.eks. I-momenter. Bruk skjønn ved behov og sjekk at frekvenskurvene for ulike varigheter er rimelige i forhold til hverandre.



Figur 5. Eksempel på flomfrekvensanalyse over flere døgn som grunnlag for flomforløp

Der det foreligger en uregulert representativ målestasjon eller tilsigsserie i vassdraget, er det naturlig å ta utgangspunkt i denne ved beregning av flomforløpet. Ved bruk av målestasjoner fra andre vassdrag må nedbørfelt- og klimaparametre være med i vurderingene. Det er da viktig at det er feltparametre som er beskrivende for tilløpsflommen det legges vekt på. For mer om representativitet se kapittel 3.1.5.

I tilfeller der resultatene ikke kommer direkte fra en målestasjon, ev. resultatene er skalert etter en helhetlig vurdering, må det vurderes om samme skalering også gjelder for andre varigheter enn døgn/kulminasjon. Et eksempel kan f.eks. være der man har en representativ målestasjon som man antar har tregere respons enn nedbørfeltet man beregner for. I slike tilfeller kan det være at man skalerer opp estimert kulminasjons- og døgnmiddelflom, mens man anser at dette ikke er nødvendig for lengre varigheter.

Flomforløpet kan til slutt utarbeides ved i) å kombinere verdier av forskjellige varigheter fra flomfrekvensanalysen (syntetisk forløp), eller ii) å skalere en observert flomhendelse til riktig volum (skalert forløp). Begge metodene er nærmere beskrevet under.

I tilfeller med forløp med varighet under to døgn anbefales det å legge kulminasjonsvannføringen etter halvparten av den nødvendige varigheten. Ved varigheter på over ca. 2-3 døgn, anbefales det generelt å legge kulminasjonsvannføringen etter en tredel av den nødvendige varigheten.

Dersom det er stor usikkerhet rundt hva som er et riktig grunnlag for konstruksjon av et flomforløp, anbefales det å utføre en følsomhetsanalyse og se på forskjellen det utgjør for avløpsflommen.

Syntetisk flomforløp

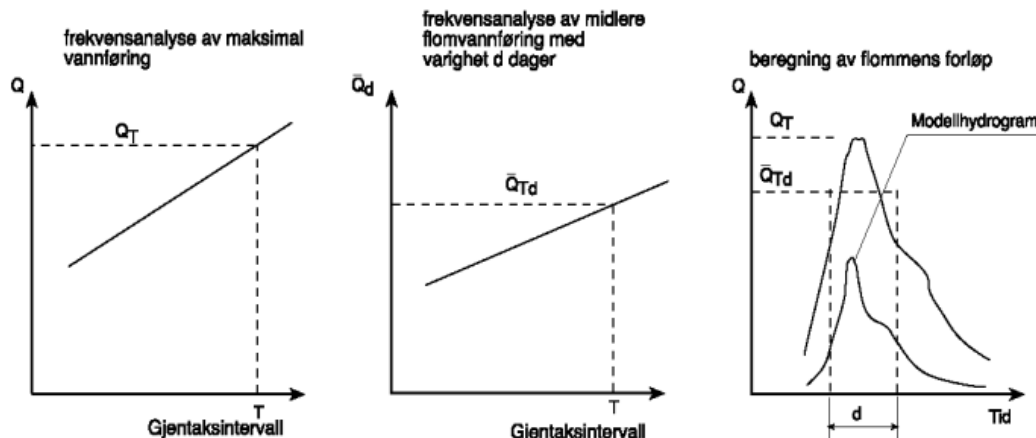
I mange tilfeller vil det enkleste være å konstruere et flomforløp manuelt, ved at vannføringer fordeles på hvert tidsskritt samtidig som volumet stemmer overens med de forskjellige varighetene. Det er lite sannsynlig at dimensjonerende flomverdier vil inntreffe samtidig for alle varigheter. Et slikt flomforløpet vil trolig resultere i et konservativt estimat på avløpsflommen.

I tilfeller hvor en ikke velger å tilpasse etter alle varigheter, skal den kritiske flomvarigheten danne grunnlag for flomforløpet. Verdiene for øvrige varigheter kan være noe mindre enn dimensjonerende gjentakintervall.

Skalering av en observert flomhendelse

Flomforløpet kan også bestemmes fra en observert flomhendelse. Det er da vanlig å ta utgangspunkt i en eller flere av de største observerte flommene ved en målestasjon eller fra en tilsigsserie.

Hydrogrammet oppskaleres som regel først til dimensjonerende verdi for den kritiske varigheten. Ved behov justeres ev. kulminasjonsverdien og flomvolumet til andre varigheter slik at dette samsvarer noenlunde med beregnede verdier i flomfrekvensanalysen, se Figur 6. Det må kontrolleres at flomvolumet for alle varigheter er rimelige, dvs. at volumet ikke blir for stort eller for lite.



Figur 6. Konstruksjon av flomforløp ved hjelp av en observert flomhendelse.

4.3 Nedbør-avløpsmetoder

I nedbør-avløpsmetoder blir nedbør (ev. i kombinasjon med snøsmelting) gjort om til vannføring ved bruk av en hydrologisk modell eller en empirisk formel som gjengir responsen til nedbørfeltet. For beregning av dimensjonerende flomverdier brukes frekvensanalyser av nedbørdata som input. Et flomestimat fra en nedbør-avløpsmetode vil derfor være sterkt avhengig av kvaliteten på nedbørdataene.

Det settes ingen krav til hvilken type nedbør-avløpsmodell som skal benyttes i en flomberegning, men valg av modell må være tilpasset flomberegningens formål (eks. gjentakintervall) og modellens bruksområder (eks. feltstørrelse) og tilgang på inputdata. Referanser til dokumentasjon av modellen bør oppgis i flomberegningen. Uansett valg av nedbør-avløpsmodell bør nødvendige modellparametre fastsettes ved kalibrering mot store flomepisoder.

En skiller gjerne mellom enkle nedbør-avløps metoder, mer avanserte hydrologiske modeller og stokastiske simuleringsmetoder. Enkle nedbør-avløpsmetoder er for eksempel [PQRUT](#)-modellen eller den rasjonelle metode, mens mer avanserte hydrologiske modeller kan være HBV-modellen eller DDD-modellen (se 4.3.1.1). De sistnevnte brukes f.eks. operasjonelt i NVEs flomvarsling, men er tradisjonelt mindre brukt i flomberegninger. Avanserte hydrologiske modeller stiller større krav til inputdata, kan være mer ressurskrevende å sette opp og kalibrere, men de vil også kunne gi et mer pålitelig flomestimat enn enklere nedbør-avløpsmodeller. I komplekse vassdrag vil bruk av mer avanserte hydrologiske modeller kunne være nødvendig.

Et nytt tilskudd er stokastiske simuleringsmetoder. De stokastiske simuleringsmetodene inkluderer en hydrologisk modell, og metoden klarer å ta hensyn til variabiliteten i både tilstanden til nedbørfeltet og ulike nedbørsekvenser, for så å lage en flomfrekvensfordeling som gjør at resultatene kan sammenlignes med f.eks. statistiske flomfrekvensanalyser. Leine & Lawrence (2021) gir en status på hvilke stokastiske simuleringsmetoder (SHADEx-metoden og Stokastisk PQRUT) som er blitt testet for norske nedbørfelt og hva som må videreutvikles for at disse metodene kan implementeres som brukervennlige alternativer til enklere nedbør-avløpsmodeller som f.eks. PQRUT.

For en flomberegning som krever beregning av Påregnelig Maksimal Flom (PMF) må en nedbør-avløpsmodell benyttes og Påregnelig Maksimal Nedbør (PMP) inngå som inputverdi. PMF kan ikke beregnes med statistiske metoder som tar utgangspunkt i en frekvensfordeling, fordi måten PMP beregnes på ikke er forenlig med metoder som tar hensyn til sannsynlighet av en gitt flomvannføring (se også kap.4.4).

De enkle nedbør-avløpsmetodene presenteres kort i påfølgende delkapitler, og for de mer avanserte metodene henvises det til relevant faglitteratur. I mange tilfeller vil det være behov for å konstruere et flomforløp ved bruk av en nedbør-avløpsmodell, og hvordan dette kan gjøres beskrives i kap. 4.3.2. Til slutt gis det anbefalinger om generell arbeidsgang for bruk av nedbør-avløpsmodeller i en flomberegning, mens en mer detaljert anbefalt arbeidsgang for [PQRUT](#) gis i vedlegg 1.10.

4.3.1 Ulike nedbør- avløpsmodeller

4.3.1.1 Avanserte hydrologiske modeller og stokastiske simuleringsmetoder

Det finnes et stort spekter av ulike avanserte hydrologiske metoder og modeller. Tabell 7 gir en oversikt over relevant faglitteratur for de modellene som har blitt mest benyttet eller testet for flomberegninger i Norge. Leine & Lawrence (2021) gir en oppsummering av stokastiske simuleringsmetoder, testet i norske nedbørfelt.

Tabell 7. Relevant faglitteratur for avanserte hydrologiske metoder/modeller.

	Type metode/modell	Relevant faglitteratur
HBV-modellen	Hydrologisk modell	Generell info om HBV-modellen . Sælthun (1996). The “Nordic” HBV model .
DDD-modellen	Hydrologisk modell	Generell info om DDD-modellen . Skaugen & Onof (2014). A rainfall runoff model parameterized from GIS and runoff data .
SHADEX	Stokastiske simuleringsmetoder, MORDOR og DDD som hydrologisk modell	Paquet mfl. (2013). The SCHADEX method: A semi-continuous rainfall-runoff simulation for extreme flood estimation .
Stokastisk PQRUT	Stokastiske simuleringsmetoder, PQRUT som hydrologisk modell	Filipova mfl. (2019). A stochastic event-based approach for flood estimation in catchments with mixed rainfall and snowmelt flood regimes .

4.3.1.2 PQRUT

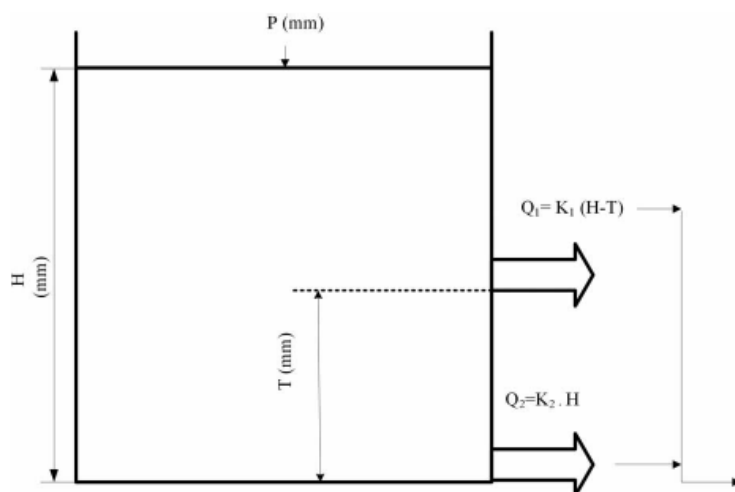
Nedbør-avløpsmodellen i [PQRUT](#) er en enkel, hendelsesbasert modell utviklet av NVE på 80-tallet (Andersen mfl., 1983). Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen og gir vannføring fra et fastlagt nedbørforløp som representerer en nedbørhendelse med et høyt gjentaksintervall. Nedbørfeltet er representert ved en karmodell hvor avløpet antas å være proporsjonalt med vanninnholdet i karet (Andersen mfl., 1983). Avløpet beregnes ved å lede nedbøren gjennom et kar som er modellert med to utløpskoeffisienter, K_1 og K_2 , se Figur 7. En «åpning» i veggen har som funksjon å forsterke feltets reaksjon (K_1) når innholdet i karet når terskelnivå, T .

Modellen har tre modellparametre:

K_1 : Tømmekonstant for øvre nivå [tid^{-1}]

K_2 : Tømmekonstant for nedre nivå [tid^{-1}]

T : Terskelnivå, skille mellom øvre og nedre nivå [mm]



Figur 7. Modellstruktur PQRUT (Filipova mfl. 2016). Totalvannføring er Q . Når $H \leq T$: $Q = K_2 \cdot H$. Når $H > T$: $Q = K_1 (H-T) + K_2 \cdot T$.

Modellparametrene (K_1 , K_2 og T) bør kalibreres for at PQRUT skal gi et best mulig flomestimat. Kalibrering krever tilgang på representative nedbør- og vannføringsdata. Hvis modellen skal brukes for umålte felt må de tre modellparametrene *estimeres*. Det er derfor gjort en regionalisering hvor man har etablert ligninger for å fastsette de tre parametrene via feltegenskaper. Andersen mfl. utviklet i 1983 det første settet med ligninger. Med tilgang på lengre tidsserier av bedre kvalitet og finere oppløsning av data, ble det i 2016 etablert nye ligninger av Filipova mfl., (2016).

Mer om modellstruktur, hvordan definere modellparametre (K_1 , K_2 og T) og annen nødvendig input til modellen, samt generelle anbefalinger knyttet til estimering av dimensjonerende flom ved bruk av PQRUT beskrives i vedlegg 1.6.

4.3.1.2.1 Bruksområde

Modellens bruksområde kan sorteres i følgende hovedpunkt, og vil fungere best for felt hvor:

- Q_T , der $T \geq 200$ år
- nedbørfeltstørrelse (A) er fra 2 km² til 800 km²
- flommene er regndominerte
- effektiv sjøprosent er lav

PQRUT kan også benyttes i umålte felt. Feltparametrene bør da ligge innenfor gyldighetsintervallet til regresjonsligningene, se vedlegg 1.6.2.

$Q_T \geq Q_{200}$: En av antagelsene i metoden er én til én sammenheng mellom gjentaksintervall (T) på nedbørsekvens og flomestimat. For at antagelsen skal være gyldig krever metoden full metning av bakken. Dette tyder på at PQRUT i utgangspunktet ikke er gyldig for lave gjentaksintervall fordi det er urimelig å anta full metning ved et lavt gjentaksintervall på P (nedbør).

Nedbørfeltstørrelse (2 – 800 km²):

Anbefalt nedbørfeltstørrelse ved bruk av PQRUT er kun veiledende, og praktisk erfaring ved bruk av modellen viser at PQRUT kan gi økt usikkerhet for de minste feltene og de største, se avsnitt under. Bruk av PQRUT for arealstørrelser utover 2-800 km² bør brukes med forsiktighet.

Små felt (spesielt felt < 10 km²): PQRUT er programmert med minste tidsskritt på 1 time. Resultater fra PQRUT for felt med konsentrasjonstid under 1 time bør derfor brukes med forsiktighet. Det kan også være utfordrende å få til gode kalibreringer i små felt, da det er begrenset tilgang på observerte data fra slike felt, og fordi observerte data (i små, raske felt) ofte har et for stort registreringsintervall (tidsskritt) for å kunne registrere reell kulminasjonsverdi.

Store felt (spesielt felt > 500 km²):

Praktisk erfaring tilsier at PQRUT overestimerer flommer for store felt. Årsaken til dette er sammensatt:

- Modellen er forholdsvis enkelt bygget opp og tillater ikke intern lagring av vann i feltet gjennom en flomhendelse.
- Krav om full metning er ikke en antagelse som vil være realistisk for større felt fordi metningen vil variere over feltet.
- Ekstremnedbørverdier og konvertering av punktnedbør til arealnedbør.
- Vanskelig å få til gode kalibreringer i store felt, da ulike flommer ofte bygges opp forskjellig på grunn av ulik fordeling av nedbør i tid og rom og varierende markvannsunderskudd i feltet.

Regndominerte flommer: En hendelsesbaserte nedbør-avløps modell for beregning av dimensjonerende flom er, i prinsippet mer utfordrende for felt hvor snøsmelting utgjør en betydelig del av flommen fordi det er utfordrende å kombinere sannsynligheten for både regn og snøsmelting av et bestemt gjentakintervall (Wilson mfl., 2011). Man antar derfor at nedbør-avløps modellering vil fungere best i felt hvor flommene stort sett er regndrevne, og hvor man i prinsippet kan si at P_T gir Q_T .

Innsjøer i nedbørfeltet/effektiv sjøprosent:

Modellparametrene i PQRUT er sensitiv for størrelsen på effektiv sjøprosent. Det er derfor viktig at man ikke tar med magasinet areal ved beregning av effektiv sjøprosent for feltet. Tilløpsflommen må da rutes gjennom magasinet for å ta hensyn til dempingen. Dette kan også gjelde for uregulerte innsjøer i hovedelva mellom magasiner, eller mellom magasin og beregningspunkt.

Når effektiv sjøprosent blir stor, vil utløpsforholdene fra innsjøene i feltet få en stadig større betydning for den hydrologiske responsen. Innsjøer med trange utløp, vil tømme seg raskere i modellen enn i realiteten og bør derfor modelleres ved at tilløpet til innsjøen rutes igjennom magasinet/innsjøen for å kunne ivareta utløpsforholdene på en bedre måte enn det PQRUT-modellen har mulighet til (Andersen mfl., 1983).

4.3.1.2.2 Usikkerhet

Usikkerhet i flomestimat fra PQRUT kan deles opp i følgende punkter:

1) Nedbørinput

Usikkerhet i ekstremnedbør og arealreduksjonsfaktor overføres til flomestimatet. Korte måleserier for nedbør vil gi usikkert datagrunnlaget for store gjentakintervall. Ofte kan det være utfordrende å finne en representativ nedbørstasjon.

2) Modellstruktur og krav til forutsetninger (initialtilstand)

PQRUT er en nedbør-avløpsmodell som forenkler de hydrologiske prosessene i stor grad. For at P_T skal gi Q_T , setter modellen strenge krav som f.eks. full metning i bakken ved flommens start. Dette kan være en konservativ antagelse siden Q_T ikke nødvendigvis forårsakes av P_T og mettet felt samtidig. Modellen tillater heller ikke intern lagring av vann gjennom en flomhendelse, eller varierende initialtilstand i nedbørfeltet eller gjennom hendelsen.

3) Kalibrering eller beregning av modellparametre

En godt kalibrert PQRUT-modell vil gi vesentlig bedre resultat enn bruk av ligningssettene for å bestemme modellparametrene K_1 , K_2 og T (Leine & Lawrence, 2021).

Dersom ligningssettene brukes for å beregne modellparametre, vær oppmerksom på at usikkerheten til modellparametrene øker dersom man gjør analyser på felt hvor tilhørende feltparametre ligger utenfor gyldighetsintervallet til ligningene. Feltegenskaper som f. eks H_L (bratthet) vil kunne gi stor forskjell i flomestimat, alt etter hvilket ligningssett som benyttes (1983-ligningene vs. 2016-ligningene). Mer om feltegenskapenes påvirkning på modellparametrene, K_1 , K_2 og T , i vedlegg 1.6.2.3.

Filipova mfl. (2016) har utviklet et sett ligninger som gjør det mulig å vurdere usikkerheten i K_1 , K_2 og T når man benytter regresjonsligningene fra 2016 for estimering av modellparametrene i umålte felt, se Leine & Lawrence (2021).

4) Våte og tørre felt

Noen feltegenskaper ser ut til å påvirke usikkerheten til modellparametrene (og dermed flomestimatet) mer enn andre. De tørre feltene (lav spesifikk avrenning og årsnedbør) presterer dårligst, mens de våtere presterer bedre (Filipova mfl., 2016). Tilsvarende funn er gjort av Merz & Blöschl (2005), som viser til at også regionalisering av flomfrekvensanalyser presterer bedre i våte enn i tørre nedbørfelt. Dette rimer godt med praktisk erfaring fra PQRUT om at flomestimat i felt med høy avrenning i større grad sammenfaller med de statistiske flomfrekvensanalysene.

4.3.1.3 Den rasjonelle metode

Den rasjonelle metoden er basert på direkte sammenheng mellom nedbør og avrenning og gir et svært enkelt overslag av kulminasjonsvannføringen.

Bruksområde

Den rasjonelle metoden benyttes til enkle overslag for dimensjonering i veldig små nedbørfelt. Metoden anbefales brukt for nedbørfelt mindre enn 2 km²¹⁰. Dersom nedbørfeltet har stor selvreguleringsevne, eksempelvis høy effektiv sjøprosent (> 1%), øker usikkerheten ytterligere da rasjonelle metode i hovedsak er utviklet for små felt med liten demping.

Formelen forutsetter en konstant intensitet for nedbørshendelsen, og med lik nedbørfordeling i hele feltet.

4.3.1.3.1 Usikkerhet

Den rasjonelle metoden er beheftet med en stor grad av usikkerhet og det anbefales derfor alltid å sammenligne resultater med andre metoder.

Usikkerhet i nedbøren overføres til flomestimatet. Korte måleserier for nedbør vil gi usikkert datagrunnlaget for høye returperioder, og ofte kan det være utfordrende å finne en representativ nedbørstasjon.

En stor del av usikkerheten ligger i valg av avrenningsfaktor (C). Avrenningsfaktoren er sjelden uniform i et nedbørfelt, men vil variere i feltet, gjennom hendelsen, og ut ifra hvor vannmettet bakken er ved nedbørens start. Metoden forutsetter at avrenningsfaktoren er konstant gjennom hele nedbørshendelsen. Den tar dermed ikke hensyn til at grunnen kan bli vannmettet underveis. Subjektive og skjønnsmessige vurderinger definerer avrenningsfaktoren C og kan derfor variere med hensyn til hvem som har gjennomført beregningen.

4.3.2 Forløp i nedbør-avløpsmodeller

Dette kapittelet gir anbefalinger for hvordan man bør kombinere nedbør og snøsmelting i et forløp for at nedbør-avløpsmodellen skal simulere et flomforløp (tilløpsflom). For vurdering av nødvendig *varighet* på forløpet, og hva som kan være en hensiktsmessig *tidsoppløsning* på dataene, se kap. 4.2.7.1 og 4.2.7.2

4.3.2.1 Ekstremnedbør og konstruksjon av forløp

For estimering og bestilling av ekstremnedbør og arealreduksjonsfaktor, se kap. 3.2.1.

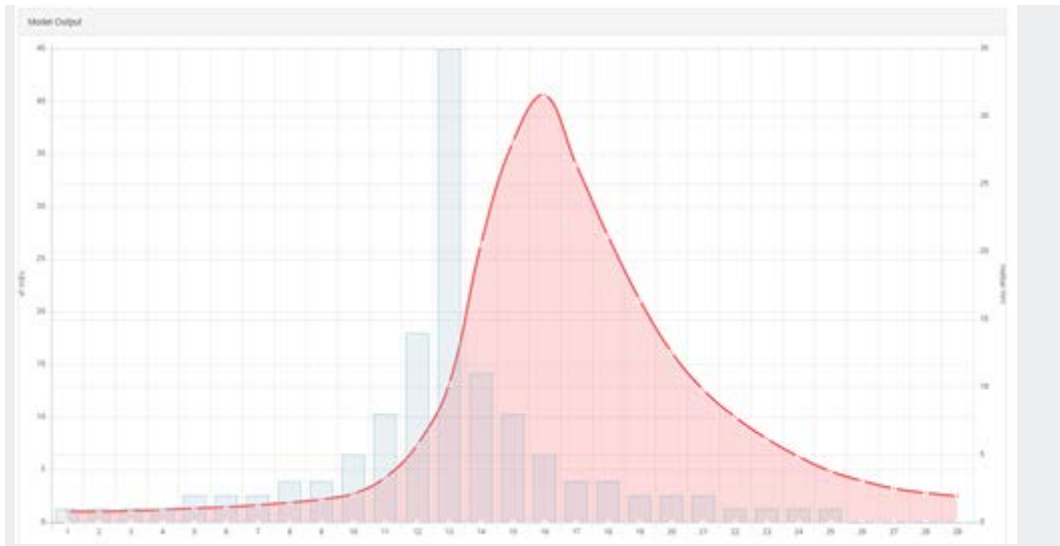
Ved konstruksjon av nedbørforløp anbefales det at dimensjonerende nedbørverdier for ulike varigheter kombineres til et forløp. Dette vil sikre at volumet over både konsentrasjonstiden til nedbørfeltet og den kritiske varigheten til et ev. magasin blir ivaretatt. I utgangspunktet vil dette være en konservativ tilnærming ettersom, eksempelvis, en timesnedbør med returperiode på 200 år svært sjelden vil inntreffe i samme nedbørepisode som døgnnedbør med samme returperiode.

Det anbefales at nedbørforløpet legges symmetrisk om den mest intense nedbørintensiteten hvis varigheten på nedbøren er vurdert som mindre eller lik to døgn. Dette er illustrert i Figur 8. Dersom nedbørforløpet har en varighet på mer enn to

¹⁰ Anbefalt bruksområde i litteraturen er opp til 0,5 km², men tradisjonelt har metoden blitt benyttet for større felt. Etter krav i Håndbok V240 (Vegdirektoratet, 2020) skal metoden ikke benyttes for felt med areal over 2 km².

døgn anbefales det at den maksimale nedbørintensiteten kommer etter ca. en tredjedel av varigheten.

I nedbørfelt med stor forsinkelse mellom nedbør- og flomtopp (lang konsentrasjonstid), kan det være nødvendig med en annen utforming av nedbørforløpet. Dette er viktig for å sikre et simulert flomforløp som også er tilpasset en magasinruting.



Figur 8. Eksempel på nedbørforløp og simulert flomforløp i PQRUT.

4.3.2.1.1 Behov for inndeling i sesong

Forholdet mellom størrelsen på beregnede flommer for kulminasjon, døgn og varigheter utover ett døgn, vil være noe forskjellig ut fra hvilke prosesser som skaper flommene eller hvilken sesong som benyttes.

Ved nedbør- avløpsmodellering velges årsnedbør eller sesongnedbør 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. Dette har oftest en sammenheng med temperatur (avgjørende for nedbørtype), 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 verdiene for nedbør på vinteren er størst, men det vurderes som mest sannsynlig at nedbøren faller som snø over store deler av feltet kan man anta at denne nedbøren ikke forårsaker flom. Dette er blant annet avhengig av feltets høydebeliggenhet.

Regulerte vassdrag

I enkelte særtilfeller, gjerne for store magasiner med høy reguleringsgrad-magasin og som er nedtappet om våren, kan det være behov for å vurdere ulike sesonger. Dette vil først og fremst være aktuelt der initialvannstanden ved ruting kan variere gjennom året (ruting forklares i kap. 0), og der initialvannstanden kan settes lavere i den perioden hvor de normalt største flommene eller tilsigene inntreffer. I slike tilfeller bør konsekvensen for avløpsflommen vurderes ved å simulere flomstørrelsen med hhv. lav initialtilstand og stort flomvolum mot høyere initialvannstand og mindre flomvolum.

Det vil da være behov for å beregne flomvolumer for ulike sesonger for å vurdere hvilken sesong som er mest kritisk.

Det benyttes normalt samme varighet på nedbør- eller flomforløpet, og samme arealreduksjonsfaktorer i nedbørfeltet uavhengig av hvilket gjentakintervall (Q_T eller Påregnelig Maksimal Flom, PMF) flomberegningen skal gjøres for.

4.3.2.2 Snø og snøsmelting

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

Det vil alltid være utfordrende 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.

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

- Ved flommer om våren og flommer i brefelt må sesongnedbør i kombinasjon med snø-/bresmelting benyttes. For flommer som antas å komme sent på våren eller på sommeren, kan det regnes med et begrenset areal som bidrar med smelte vann.
- For flommer om høsten og vinteren skal en vurdere snøforholdene spesielt for å avgjøre om snøsmelting skal legges til ekstremnedbøren eller ikke.
- For flommer opp til Q_{1000} gjelder det 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 brukes årsverdiene av ekstremnedbør uten snøsmelting. Alternativt benyttes sesongverdi av ekstrem nedbør tillagt aktuell snøsmelting hvis dette gir større flom.
- 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 flom i sommersesongen som den kritiske. I store felt er det derimot sjelden at flommer om sommeren er de kritiske på grunn av at markvannsunderskuddet som oftest er stort. Det finnes imidlertid flere eksempler på store sommerflommer forårsaket av langvarig nedbør.

Ved beregning av PMF benyttes PMP-verdier for den aktuelle sesongen, kombinert med maksimalt beregnet snøsmelting under stor nedbør i samme sesong. Det kan også være nødvendig å beregne PMF for forskjellige sesonger for å finne hvilken kombinasjon av nedbør og snøsmelting som gir størst flom.

Snøsmeltingen fordeles vanligvis jevnt over nedbørforløpet og regnes som et tillegg til nedbøren. Tilgjengelig snømengde og smeltrate danner grunnlaget for å vurdere tidsperioden som bidrar til snøsmelting, se kap. 4.3.2.2.1

For små felt kan det være aktuelt å regne med en døgnvariasjon i snøsmeltingen. Eventuell snøsmelting før eller etter nedbørepisoden beregnes med en redusert graddagsfaktor.

4.3.2.2.1 Snødekning og snødybde

For å beregne aktuell snøsmelting må man først vurdere snødekningsgraden og snødybden for flomskapende sesong.

Hvis snøkartene i [SeNorge](#) viser at det er minst 40 prosent 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.

I nedbørfelt med stor høydeforskjell må det vurderes om det er realistisk å regne med full snødekning i den måneden man antar at flommen opptre. Om våren og sommeren er det større sannsynlighet for delvis snødekning, mens ved nysnø om høsten vil det være fornuftig å regne med full snødekning.

Andre forhold som kan føre til redusert grad av snødekning må også vurderes. For eksempel vil snøsmelting på innsjøer ikke bidra til avrenning. Arealet av innsjøer og magasiner skal derfor utelates ved beregning av snøsmelting.

Ved langvarige flomforløp må også snømengden estimeres. Dette er viktig for å vurdere om det skal regnes med snøsmelting over hele forløpet eller bare for deler av det. [SeNorge](#) har kartlag med simulert snødybde og vannekvivalent som er et godt utgangspunkt for slike vurderinger. Det anbefales å verifisere snømengdene mot flere kilder, slik som for eksempel snøobservasjoner hos NVE og MET. I Førland og Tveito (1997) gis det en oversikt over maksimale snødybder i cm i forskjellige måneder.

4.3.2.2.2 Snøsmelting

[SeNorge](#) inneholder også kartlag som angir snøsmelting. Snømodeller klarer ikke alltid å fange opp ekstreme snøsmelteepisoder som skyldes sterk solinnstråling, eller varm fuktig luft i kombinasjon med vind. En har derfor ofte sett at snøkartene kan gi for lave snøsmelterater. NVE anbefaler derfor fortsatt å bruke snøsmelting basert på grad- dagsfaktorer og lufttemperatur.

Snøsmeltingen (S) kan beregnes ut fra en graddagsfaktor (C_s) og et estimat av lufttemperaturen (T_L):

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

Erfaringstallene for C_s (mm/°C pr. døgn) gitt i Tabell 8 kan brukes dersom C_s ikke kan fastsettes ved kalibrering av nedbør-avløpsmodell. Graddagsfaktoren er avhengig av hvilken type arealdekning som er dominerende i feltet.

Tabell 8. Anbefalte graddagsfaktorer, 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 høyde. 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.

Erfaringstall for snøsmelting

I Stranden & Holmqvist (2017) er det blant annet analysert snøsmelterater og graddagsfaktorer fra noen utvalgte smeltehendelser. Ut fra vannføringsdata er det beregnet smelting på 50 – 60 mm/døgn i både Sør- og Nord-Norge i løpet av årene 2010 – 2016. Under flommen i mai 2010 i Nord-Norge er det beregnet smelting på opp mot 80 mm/døgn.

For de undersøkte hendelsene varierer median graddagsfaktorer fra ca. 2,5 – 5,0 mm/°C pr. døgn. Dette stemmer godt med erfaringstallene i Tabell 8. For enkelthendelser er det derimot graddagsfaktorer på opp mot 12 mm/°C pr. døgn i Sør-Norge og 15 mm/°C pr. døgn i Nord-Norge.

I Saloranta (2014) er det analysert smelting fra flere snøstasjoner (snøputer). Der fant en at medianverdien, fra ca. 30 snøstasjoner, ga 15 mm/døgn, mens maksimalverdien var 65 mm/døgn.

I et internt NVE-notat (upublisert, Saloranta, 2017) er det, med en døgnmiddeltemperatur på 8 °C og en vindstyrke på 15 m/s (stiv kuling), beregnet en snøsmelting i starten av juni til ca. 50 mm/døgn ved klarvær og ca. 75 mm/døgn i overskya vær. Dette tilsvarer graddagsfaktorer på ca. 6 og 9 mm/°C pr. døgn. Tilsvarende temperatur og vindstyrke i starten av april ville imidlertid gi noe mindre snøsmelting (ca. 40 mm/døgn i klarvær og 70 mm/døgn i overskya vær). Dette skyldes mindre kort- og langbølget innstråling i april enn i juni.

Ved beregning av sjeldne flomhendelser, hvor det er rimelig å anta full snødekning, kan oppgitte erfaringstall benyttes for å vurdere rimeligheten til det beregnede bidraget fra snøsmeltingen.

4.3.3 Arbeidsgang for nedbør-avløpsmetoder

Generell arbeidsgang for bruk av nedbør-avløpsmodell¹¹ for beregning av dimensjonerende flom vil være å:

1. hente ut eller beregne feltparametre
2. kalibrere eller beregne modellparametre
3. konstruere forløp
 - for beregning og bestilling av ekstremnedbør, se kap. 3.2.1.

¹¹ Arbeidsgangen gjelder ikke ved bruk av empiriske formler (eks. rasjonelle metode)

- for konstruksjon av form og varighet på forløpet, samt beregning av ev. snøsmelting og hvordan kombinere ev. nedbør og snøsmelting i et forløp, se kap. 4.2.7 og 4.3.2.

4. validere modell

5. vurdere flomestimat opp mot estimat fra andre statistiske metoder og erfaringstall, se kap. 0.

Det kan ofte være nødvendig å justere inngangsdata eller initialtilstander i nedbør-avløpsmodellen for å oppnå en rimelig overensstemmelse med observerte hendelser.

Ved bruk av nedbør-avløpsmetoden for beregning av tilløpsflommer med gitte gjentakintervall, må resultatet alltid vurderes mot flomstørrelser beregnet ut fra flomfrekvensanalyser, observerte flomdata og/eller erfaringstall for relevante flomstørrelser.

Anbefalt arbeidsgang for bruk av PQRUT ved beregning av dimensjonerende flom er beskrevet i eget vedlegg 1.10.

4.4 Påregnelig maksimal flom (PMF)

Påregnelig maksimal flom (PMF) er den største flomstørrelsen som kan opptre, og er en kombinasjon av de mest ugunstige meteorologiske og hydrologiske forholdene en kan ha. Påregnelig maksimal flom (PMF) kan ikke knyttes til et gjentakintervall. Nedbør-avløpsmetoden må derfor benyttes ved beregning av påregnelig maksimal tilløpsflom, og Påregnelig maksimal nedbør (PMP) må benyttes som inngangsdata. PMP er den teoretisk største nedbørmengden som er fysisk mulig over et gitt nedbørfelt til en gitt tid på året og kan heller ikke knyttes til et gjentakintervall.

Ved beregning PMF må PMP-verdier for aktuell sesong, kombinert med maksimalt beregnet snøsmelting under stor nedbør i samme sesong benyttes. Det kan også være nødvendig å beregne PMF for forskjellige sesonger for å finne hvilken kombinasjon av nedbør og snøsmelting som gir størst flom.

Hvis nedbør-avløpsmodellen antas å fungere dårlig, og for eksempel beregning av Q_{1000} med nedbør-avløpsmodell gir resultater som avviker stort fra Q_{1000} beregnet fra flomfrekvensanalyser, kan det være en mulighet å beregne PMF ved skalering av Q_{1000} beregnet fra flomfrekvensanalysen.

Skaleringen av tilløpsflommen foregår da slik:

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

Siden PMF beregnes med én metode og Q_{1000} med en annen, er sammenligning av flomestimatene ikke mulig. Resultatene bør imidlertid alltid vurderes mot PMF-verdier beregnet for representative felt. En PMF-verdi er vanligvis 1,5 - 3,0 ganger Q_{1000} verdien for et felt.

Forholdet mellom PMF og Q_{1000} blir ofte større i store felt enn i små felt, fordi en flom med et gitt gjentakintervall er en kombinasjon av mer eller mindre kritiske tilstander i de forskjellige delfeltene, mens PMF alltid er en kombinasjon av alle kritiske, men realistiske tilstander i alle delfelt.

Det benyttes normalt samme nedbør-/flomvarighet og samme arealreduksjonsfaktorer for flomsituasjoner med gitte gjentakintervall og for PMF. Det kan imidlertid være tilfeller når forskjellig sesong skal legges til grunn for PMF og for flommer med lavere gjentakintervall.

5 Ruting - beregning av avløpsflom og vannstand

Ruting er en metode for å beregne endringer i et hydrogram eller flomforløp når det beveger seg gjennom et magasin, en innsjø eller langs en elvestrekning. For beregninger av vannstand og avløpsflom fra et magasin, er det ofte godt nok å bruke en forenklet tilnærming der en løser kontinuitetsligningen (hydrologisk ruting). Resultater kan bl.a. bestå av størrelsen på avløpsflommen, dimensjonerende vannstand i magasinet og tidsforsinkelse av flomtoppen.

5.1 Når er det nødvendig med ruting?

Flomdempingen i et vassdrag påvirkes i stor grad av evnen til å magasinere vann i magasiner, innsjøer eller langs elvestrekninger (flomsletter). Dersom magasinet eller innsjøens flomdempende virkning er neglisjerbar, blir avløpsflommen tilnærmet lik tilløpsflommen. Man trenger dermed ikke foreta noen ruting. Dette er ofte tilfelle for elvekraftverk med små inntaksmagasin, eller der hvor innsjø/magasin er lite sett i forhold til vannvolumet under flom.

Dersom magasin eller innsjøer har en antatt signifikant flomdempning, er det ofte behov for ruting. Under er det nevnt noen situasjoner hvor ruting er nyttig.

- Beregning av dimensjonerende vannstand og avløpsflom for en dam med et tilhørende magasin.
- Ved utforming av overløp og flomavledning ved dammer i et magasin.
- Vurdering av effekten av endrede utløpsforhold fra en innsjø.
- Vurdering av effekten av manøvrerings- og tappestrategier i regulerte vassdrag.
- Vurdering av flomforholdene ved inngrep i et vassdrag.
- Der en har en målestasjon (eller representativ målestasjon) for tilløpet til en innsjø, men hvor man ønsker å beregne avløpsflom eller vannstand i innsjø.

5.2 Beregningsforutsetninger ved ruting

For å utføre en ruting gjennom et magasin eller en innsjø, kreves kunnskap om tilløpsflommen, hydrauliske egenskaper ved dam eller utløp og enkelte andre beregningsforutsetninger. Under er de viktigste listet opp:

- tilløpsflommens størrelse og forløp
- vannstand i magasinet ved flommens begynnelse
- magasinet volumkurve
- avløpskapasiteten ut av magasinet (innsjøen)

Generelt gjelder for flomberegninger for damsikkerhet at de forutsetninger som er de mest ugunstige for det aktuelle magasinet skal legges til grunn. Dette er nærmere beskrevet i «[Flomberegninger for dammer – Veileder til damsikkerhetsforskriften \(02/2022\)](#)».

En tilløps-/tilsigsflom kan beregnes ved metoder og anbefalinger som gitt i kapittel 0.

Initialvannstand i en innsjø kan ofte settes til vannstand ved middelvannføringen i den aktuelle sesongen eller over året. For magasiner benyttes svært ofte HRV som initialvannstand, dette er nærmere omtalt i «[Veileder \(02/2022\)](#)». I den nevnte veilederen er også andre krav og aktuelle problemstillinger omtalt, slik som flomavledning, tilstopping av flomløp, drift av kraftverk, overføringer inn eller ut av feltet m.m.

Magasinets volumkurve for ruting bestemmes gjerne ut fra magasinets overflateareal ved HRV, samt en eller flere andre vannstander. For mange magasiner øker vanddekt areal relativt lite over HRV. I slike tilfeller er det vanlig å anta loddrette kanter rundt magasinet og en konstant volumøkning per cm vannstandsstigning over HRV. Dette er en konservativ antagelse mht. estimert vannstand i magasinet som kan bli noe overestimert. For avløpsflommen er det motsatt, denne vil bli noe underestimert. I tilfeller hvor relativt sett store arealer blir oversvømt når vannstanden stiger, bør en etablere en reell volumkurve ut fra høydedata rundt magasinet (eller innsjøen).

For en naturlig innsjø bør utløpet måles opp for å etablere en sammenheng mellom vannstand og vannføring, som så benyttes i modellen. For dammer benyttes kapasitetskurver for de ulike flomavledningsorganene slik at det er samsvar med de krav som er satt i Damsikkerhetsforskriften og [NVEs Veileder \(02/2022\)](#).

Hvis formålet med rutingen er flomsonekartlegging eller andre beregninger som omhandler sikkerhet mot flom knyttet til reguleringsplan og byggesak, se NVEs veileder [Sikkerhet mot flom – utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak \(03/2022\)](#).

Ruting kan f.eks. utføres ved hjelp av enkle regneark, modellverktøyet [PQRUT](#) eller i ulike hydrauliske modeller.

5.3 Ruting gjennom flere magasin

Hvis det er flere magasin i et vassdrag, er i prinsippet den totale tilløpsflommen til et magasin lik flombidraget fra lokalfeltet, tillagt avløpsflom fra oppstrøms magasin og eventuelle overføringer. En stor utfordring er å kombinere flombidrag fra ulike deler av vassdraget på en riktig måte, slik at dimensjonerende tilløpsflom har riktig gjentakintervall nedover i vassdraget. Denne problemstillingen er særlig knyttet til bruk av arealreduksjonsfaktor ved beregning av nedbør eller endringer i tilsigsflom nedover i et vassdrag.

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

Forutsetningene for ruting av flommen gjennom et vassdrag med flere magasin, vil vanligvis være de samme som for ett enkelt magasin (f.eks. magasinenes startvannstander lik HRV, overføringer inn i totalfeltet står åpne og overføringer ut av totalfeltet er 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 drift av kraftverk. Det skal forutsettes at kraftverket er ute av drift når man gjør beregning for inntaksmagasinet, men for nedenforliggende magasin kan det være mer ugunstig at kraftverket forutsettes å være i drift.

En tilsvarende problemstilling kan oppstå når det ligger en uregulert innsjø på en elvestrekning mellom to magasin eller mellom et magasin og et beregningspunkt. For å ta hensyn til flomdempingen i denne innsjøen, er det nødvendig å behandle den som et magasin. I slike tilfeller kan de samme vurderingene som ved flere magasin benyttes.

Les mer om utfordringer og anbefalinger knyttet til sammensatte felt i kapitlene 6 og 6.1.1

6 Komplekse felt

6.1 Sammensatte nedbørfelt

Flomberegninger i sammensatte felt, eksempelvis felt med flere magasiner, 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. 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 menes at det ikke tas hensyn til flomdempning i noen av magasinene i feltet (for mer informasjon om tilsigsserier se kap. 3.1.3). 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 relativt til midlere årstilsig eller areal, og delflommene rutes gjennom magasinene nedover vassdraget til nederste magasin. Det regnes ikke med transporttider i vassdraget, siden dette er inkludert i beregningen av tilsigsflommen. Disse beregningene gir aktuell tilløpsflom (Q_T eller PMF) bare for nederste magasin.

Man må være oppmerksom på at dersom det nederste magasinet har et lite lokalfelt og liten kritisk varighet (liten dempning) i forhold til oppstrøms magasin, kan det være avløpsflom med gitt gjentakintervall fra magasinet ovenfor pluss et lite bidrag fra lokalfeltet som er mest kritisk.

Utfordringene ved beregning for sammensatte felt med nedbør-avløpsmodell oppstår først og fremst når man har magasin med svært forskjellig flomdempende effekt, dvs. forskjellig kritisk varighet (V_M) for magasinene. Da vil det i utgangspunktet være forskjellige nedbørvarigheter og forskjellige arealreduksjonsfaktorer som er kritiske for de ulike magasinene. Et klassisk eksempel er et felt med lite inntaksmagasin med betydelig lokalfelt, og et stort hovedmagasin oppstrøms. For hovedmagasinet kan det være nedbør over flere døgn eller vårfloppen 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 (P) for lokalfeltet skales med arealreduksjonsfaktorer for lokalfeltets areal (A). Samme nedbørforløp benyttes for resten av totalfeltet, men skaleringsfaktoren (R) justeres til arealreduksjonsfaktoren for totalfeltet, på følgende måte:

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

$$P_{\text{tot}} \cdot A_{\text{tot}} = (P_1 \cdot A_1) + (P_2 \cdot A_2)$$

der P betegner nedbørverdier og A feltarealer.

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

$$P_{\text{tot}} = R_{\text{tot}} \cdot P$$

$$P_1 = R_1 \cdot P$$

$$P_2 = R_2 \cdot P$$

der R_{Tot} og R_1 er arealreduksjonsfaktorene for totalfeltet og lokalfeltet.

Skaleringsfaktoren for resten av totalfeltet, R_2 , blir da:

$$R_2 = ((R_{\text{tot}} \cdot A_{\text{tot}}) - (R_1 \cdot A_1)) / A_2$$

Ved store variasjoner i nedbørforholdene innen totalfeltet, bør man heller basere nedbørfordelingen ved kartlegging av store nedbørhendelser eller nedbørfordelingskart. Det bør gjøres i samråd med Meteorologisk institutt.

Flom i begge delfelt simuleres ut fra arealredusert nedbørforløp tillagt eventuell snøsmelting ved hjelp av nedbør-avløpsmodellen. Den videre beregningen 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 PMF for totalfeltet ikke bygges opp av Q_T - og PMF-flommer for hvert enkelt delfelt, fordi dette vil gi en økende overestimering av Q_T og PMF nedover vassdraget.

6.1.1 Store, sammensatte felt

Beregning av flommer opp til Q_{1000} for store felt ($> 800 - 1000 \text{ km}^2$) skal fortrinnsvis baseres på flomfrekvensanalyser. Ved beregning av PMF må i midlertidig en nedbør-avløpsmodell normalt benyttes. For store felt kan mer avanserte nedbør-avløpsmodeller (for eksempel HBV-modellen) gi mer rimelige flomestimer. Ved bruk av PQRUT i felt over 800 km^2 kan det være nødvendig å dele opp feltet i flere delfelt. Ved oppdeling i flere delfelt vil det være utfordringer knyttet til hvordan flommene i delfeltene skal kombineres nedover vassdraget, slik at riktig gjentakintervall opprettholdes.

Forholdet mellom PMF og Q_{1000} blir ofte større i store felt enn i små felt, fordi en flom med et gitt gjentakintervall 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 derfor 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 snakk om. 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. Mer om ruting finnes i kapittel 0.

Et lite magasin langt oppe i vassdraget vil i mange tilfeller ha liten innflytelse på den totale flomdempningen. I slike tilfeller kan magasinets sjøareal inkluderes ved beregning av feltets effektive sjøprosent. Flommen skal da ikke rutes gjennom dette magasinet. Det bør vurderes om det er riktig å forutsette at alle magasin ligger på HRV ved flommens begynnelse, ved beregning av flom med gitt gjentakintervall. En slik forutsetning kan føre til overestimering av tilløpsflommen til det nederste magasinet med det aktuelle gjentakintervallet.

Ved bruk av nedbør-avløpsmodeller kan man lage modeller for flere delfelt istedenfor å lage en modell for totalfeltet til det aktuelle magasinet. Flommene i delfeltene må da beregnes ut fra nedbørverdier som er representative for totalfeltet og med arealreduksjonsfaktorer som gjelder for totalfeltet. Disse flommene representerer da delfeltenes bidrag ved flommen i totalfeltet. Flomverdien til totalfeltet er noe mindre enn delfeltenes Q_T - og PMF-verdier. Delflommene må rutes gjennom magasinene

nedover vassdraget til nederste magasin. I slike tilfeller må det tas hensyn til transporttider i vassdraget, dvs. at man vanligvis må regne med en tidsforsinkelse mellom flommene i de forskjellige delfeltene. Slike beregninger gir tilløpsflom (Q_T eller PMF) for bare nederste magasin.

6.2 Samløpsproblematikk

Dette kapittelet er først og fremst rettet mot tilfeller der flomberegningen er en del av en flomfarekartlegging som inkluderer hydraulisk modellering, og der elvestrekningen som skal kartlegges inneholder samløp mellom to eller flere elvestrenger.

Der to eller flere elver møtes, er det ikke gitt hvilken hendelse (kombinasjon av kulminasjonstidspunkt og gjentakintervall i de ulike elvene) som vil resultere i de mest riktige vannstandene. En kan anta at alle elver og bekker kulminerer samtidig, men dette vil sannsynligvis være en konservativ antakelse. I tilfeller der konsekvensen (utslag i vannstand) er signifikant forskjellig ut fra ulik fordeling og størrelse på vannføringene, bør det gjøres en nøye vurdering hva som er en fornuftig fordeling. Dette er gjerne en omfattende prosess og nødvendigheten bør sees i sammenheng med formålet med beregningen.

Under er det gitt noen generelle betraktninger rundt samløpsproblematikk. Rett tilnærming må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

6.2.1 Samløp – hovedelv og sideelv

Hvis flomdata finnes for hovedelv og sideelv kan disse danne grunnlag for å vurdere realistiske kombinasjoner av flomvannføringer. Ofte vil flommen i den ene elva allerede være på retur, eller ennå ikke nådd kulminasjon, når flommen i den andre elva kulminerer. En liten sideelv langt nede i vassdraget vil sannsynligvis allerede ha en relativt liten flomvannføring når flommen i hovedelva kulminerer. Flommen i mindre sideelver vil sannsynligvis kulminere fra noen timer til noen dager før flomtoppen er nådd i hovedelva. Det kan også være helt andre vær-situasjoner som fører til store flommer i sideelva. Hvis observasjoner er tilgjengelig kan vannføringen i hovedelva for tidspunktet flommen i sideelva kulminerer, estimeres ut fra forholdstallet mellom vannføringene ved noen store flommer.

Der hovedelva er desidert størst og det ikke er behov for å kartlegge sideelva spesielt, kan flomstørrelsen være den samme på hele strekningen. Om det kommer til sideelver av vesentlig størrelse, kan flomverdiene i hovedelva skaleres mht. økningen i areal.

6.2.2 Samløp - jevnbyrdige sideelver

Der to elver møtes som er relativt like i feltstørrelse og feltegenskaper, kan man anta samtidig kulminasjon. Flommene kan da skaleres ut fra areal og fordeles mellom elvene mht. dette. En reduksjon i spesifikke flomverdier nedstrøms samløpet kan vurderes på grunn av større areal nedstrøms samløpet.

6.2.3 Samløp - elver av ulik karakter

Der elver av ulik karakter møtes, må det gjøres separate flomberegninger for elvene. Om det er antatt vesentlig forskjell i responstiden på flomforløpet, kan det regnes på forsinkelse i kulminasjonstidspunkt for ev. å justere bidraget fra flommen mellom de

ulike delfeltene. Det må dermed også vurderes hvilket gjentakintervall tilstøtende elver er, når kulminasjon inntreffer i hver av delene.

Der det er stor forskjell i elvenes lengde for henholdsvis hovedelv og sideelv, kan dette gi ulikt tidspunkt for kulminasjon i elvene og ved samløpet. Transporttider i elvene kan danne grunnlag for beregning av tidsforsinkelser. I Norge brukes gjerne en gjennomsnittlig hastighet på vannet i elver på 1-2 m/s som et utgangspunkt. Alternativt kan andre metoder og formler for beregning av konsentrasjonstider for nedbørfelt benyttes, se kap. 2.5.1 og 4.2.7.

Dempning og forsinkelse av flomtoppen nedstrøms større innsjøer må vurderes. Det finnes eksempler på at spesifikk flom også kan øke nedover et vassdrag. Dette kan for eksempel skyldes at store innsjøer i øvre del av vassdraget demper flommer mer enn for delfelt lenger ned i vassdraget, eller at det kan være ulik fordeling av nedbør over nedbørfeltet.

Om små sideelver også skal kartlegges, kreves det eventuelt en egen flomberegning for disse. Spesifikke flomverdier kan være svært ulike i små og store elver. Forsinkelse i flomforløpet mellom sideelv og hovedelv kan ofte føre til at flommene i elvene kulminerer til ulik tid.

6.2.4 Utløp i innsjø

Når kartlagt elvestrekning har utløp i en innsjø med betydelig flomdempning, kan vannstanden i innsjøen ved kulminasjon i elva inngå som en grensebetingelse i den hydrauliske modellen. Dette kan avvike fra dimensjonerende flomvannstand i innsjøen (være lavere), da denne enda ikke har kulminert når elva har sin største vannføring. Det kan være utfordrende å beregne dette, hvis det ikke finnes samtidige målinger både i innsjø og elv. Sammenhengen kan da bestemmes ved å rute av flomforløpet gjennom innsjøen. Se mer om ruting i kap. 0.

7 Evaluering av resultater og vurdering av usikkerhet

Det er viktig å forstå årsaken til usikkerhetene i en flomberegning. Det er svært utfordrende å kvantifisere den totale usikkerheten, men de største bidragene til usikkerheten bør identifiseres og tallfestes hvis mulig. Virkning av eventuelle usikkerheter kan for eksempel synliggjøres ved hjelp av en følsomhetsanalyse (se kap. 7.4).

Usikkerheten i et flomestimat kan skyldes en rekke ulike forhold. Listen under viser noen av kildene til usikkerhet, men den er ikke uttømmende.

- Usikkerhet i «observert vannføring» og i vannføringskurven. Det er vannstanden som observeres. Vannstanden regnes om til vannføring via en vannføringskurve, som ofte er ekstrapolert for de største vannføringene/vannstandene.
- Usikkerhet knyttet til kvaliteten på tidsseriene: forhold for vannstandsregistreringer, driftsutfordringer, komplettethet osv.
- Usikkerhet i tidsseriene i Hydrologisk avdelings database (Hydra II):
 - døgnmiddelverdier basert på kalenderdøgn. I prinsippet er alle flomvannføringer derfor noe underestimerte, siden største 24-timersmiddel alltid vil være mer eller mindre større enn største kalenderdøgnmiddel.
 - de eldste dataene i databasen basert på én daglig observasjon av vannstand, inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesninger betraktes å representere et døgnmiddel, men kan selvfølgelig avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmidlet.
 - data med fin tidsoppløsning er ikke kontrollert på samme måte som døgndata, og er ikke kompletterte ved observasjonsbrudd.
- Usikkerhet knyttet til valg av statistisk fordeling (f.eks. Gumbel, el. GEV) ved frekvensanalyser.
- Usikkerhet knyttet til beregning av forholdstall mellom døgn- og kulminasjonsvannføring.
- Mangel på representative tidsserier.
- Mange tidsserier er for korte for å gi gode estimat på ekstreme flommer.
- Flere tidsserier mangler observasjoner av ekstreme hendelser. Ekstreme, lokale hendelser kan lett havne utenfor stasjonsnettet.

Ved bruk av regionalt formelverk kan man tallfestet usikkerheten til flomestimatet. Det samme gjelder ved bruk av Bayesiansk tilnærming når man gjør en

flomfrekvensanalyse. Ved bruk av statistiske beregninger kan man også tallfeste eller få en indikasjon på usikkerheten til vannføringskurven.

For å minimere usikkerhetene ved bruk av en nedbør-avløpsmodell eller mer avanserte hydrologiske modeller bør man alltid kalibrere eller verifisere modellen mot observerte store flomhendelser, dersom dette er mulig.

7.1 Vurdering av det hydrologiske datagrunnlaget

Viktige kilder til usikkerheter er kvaliteten på dataene, mengden med data, valg av metoder og andre valg underveis i beregningen. En klassifisering av det hydrologiske datagrunnlaget og hvordan det er benyttet i flomberegningen, kan dermed brukes for å si noe om usikkerheten til flomberegningen.

NVE anbefaler at det i en flomberegning alltid utføres en vurdering av kvaliteten på det tilgjengelige hydrologiske datagrunnlaget. Dette gjøres gjennom en klassifisering av det hydrologiske datagrunnlaget. Kvaliteten på datagrunnlaget vurderes i en skala fra 1 til 5, der klasse 1 er beste klasse og klasse 5 er dårligst. Kriteriene for klassifisering av det hydrologiske grunnlaget er gitt i Tabell 9.

For flomberegninger som utføres for damsikkerhet (konsekvensklasse 1-4) er denne vurderingen/klassifiseringen et krav ([Flomberegninger for dammer – NVE Veileder \(02/2022\)](#)). Klassifisering er da et av flere element som brukes for å vurdere behov for ev. sikkerhetspåslag (%) på dimensjonerende tilløpsflom til dammen. NVE anbefaler at samme klassifisering brukes uavhengig av formålet for flomberegningen.

Representativiteten av det samme datagrunnlaget kan variere innen et vassdrag. Ved flere beregningspunkter kan det kan være aktuelt med ulike klassifiseringer (ulik klasse) for forskjellige steder i vassdraget.

Tabell 9. Klassifisering av usikkerhet knyttet til det hydrologiske datagrunnlaget.

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.

7.1.1 Støtte til klassifiseringen

Klassifiseringskriteriene i Tabell 9 gir stort rom for tolkning. Det er derfor gitt en mer utdypende beskrivelse og forklaring til hva som ligger bak vurderingene av klassene. Figur 9 viser et flytskjema som, sammen med forklaring i Tabell 10, er ment som et hjelpemiddel ved klassifiseringen. Skjemaet dekker ikke alle tenkelige tilfeller, men er en veiledning ved vurdering av det hydrologiske datagrunnlaget.

I flytskjemaet er det spesielt tre spørsmål som må besvares:

1. Er det observasjoner i eller nært vassdraget?
2. Foreligger det gode flomdata?
3. Er det store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området?



Figur 9. Skjema til hjelp for klassifiseringen og må ses sammen med Tabell 10.

Tabell 10. Spørsmål og forklaring til hva som må vurderes ved bruk av flytskjema i Figur 9.

Spørsmål	Forklaring
Er det observasjoner i eller nært vassdraget?	Vannføringsobservasjoner, tilsigsserier eller andre konstruerte vannføringsserier som vurderes som representative for beregningen. Observasjonene skal ligge i vassdraget eller i umiddelbar nærhet.
Foreligger det gode flomdata?	Gode flomdata må ha både tilstrekkelig lang tidsperiode og god datakvalitet på flom (f.eks. god kvalitet på vannføringskurven på flom, stabilt profil og gode forhold for vannstandsregistrering og vannføringsmåling på flomvannføringer). Hva som er tilstrekkelig lengde på tidsserien, er avhengig av flomberegningens formål. For bestemmelse av middelflom kan noen få år med data være tilstrekkelig, men for høyere gjentaksintervall kreves det mye lengre tidsserier ¹⁾ . Det er også nyttig å vurdere om det er registrert mange og store nok flommer i perioden med tilgjengelige observasjoner.
Er det store gradienter eller variasjoner i spesifikke flomstørrelser i området?	Vurder spredningen i sammenlignbare resultater, spesifikke flomstørrelser, mellom de antatt mest representative målestasjonene (lokal flomfrekvensanalyse og/eller full lokal + regional analyse). Er det store variasjoner i spesifikke flomstørrelser ved bruk av regionale analyser (regionalt formelverk eller regional analyse på stasjonsutvalget)?

1) De lengste tidsseriene, døgnverdier, i NVEs arkiv er litt over 100 år, men de fleste har ikke mer enn 50-60 år med data. For tidsserier med findata (oppløsning finere enn døgn) er de lengste seriene på litt over 50 år (Engeland mfl. 2016).

7.1.2 Klassifisering ved bruk av nedbør-avløpsmodeller

For at klassifiseringskriteriene beskrevet i Tabell 9 skal være sammenlignbare, også ved bruk av nedbør-avløpsmodell, er det fremdeles det tilgjengelige hydrologiske datagrunnlaget og hvordan det er benyttet i flomberegningen (kalibrering/verifisering/sammenligning av resultater) som skal klassifiseres/vurderes.

7.2 Sammenligning med andre flomberegninger og observasjoner i området

Størrelsen av flommen(e), beregnet som spesifikk vannføring (q_T), bør alltid sammenlignes med resultat fra andre flomberegninger hvis slike finnes, og eventuelle observasjoner i området.

Ved flomberegninger for damsikkerhet er det krav om å sammenligne beregnede verdier med eventuelle observerte verdier i vassdraget, f.eks. med observerte vannstander i magasin som inngår i flomberegningen.

I NVE jobbes det med en flomrapportdatabase der målsetningen er at man enkelt skal kunne finne en oversikt over tidligere flomberegninger i det området eller vassdraget man utfører beregninger for. Inntil denne flomrapportdatabase er ferdigstilt er det samlet informasjon om erfaringstall fra tidligere NVE rapporter, se kap. 7.3.1 Erfaringstall - døgnverdier og 7.3.2 Erfaringstall - kulminasjonsverdier i små felt.

Hvis flomverdiene fraviker vesentlig fra tidligere sammenlignbare beregninger, bør flomberegningen vurderes kritisk og hvis mulig finne ut om det er en rimelig grunn til avviket.

Beregninger ved nedbør-avløpsmodeller skal alltid sammenlignes med flomstørrelser beregnet ut fra flomfrekvensanalyser og/eller formelverk.

Beregnete dimensjonerende flommer bør sammenlignes med observerte flomverdier i vassdraget, hvis slike observasjoner finnes. Størrelsen av estimerte flomverdier bør stå i rimelig samsvar med observerte flommer. Merk at ved sammenligning med observerte flommer vil det kunne forekomme feil i observerte verdier. Vannstander kan eksempelvis være oppgitt i forskjellige høydesystemer.

7.3 Erfaringstall

7.3.1 Erfaringstall - døgnverdier

I Midttømme mfl. (2011) vedlegg 3, er resultater fra flomberegninger utført ved NVE studert i perioden 1985 til ca. 2010. Døgnmiddelverdier for flommer med gjentakintervall 1000 år ble 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 q1000 i små felt, < 50 km².

På Østlandet, i vassdrag som drenerer til Sverige og vassdragsområdene 001 tom. 016, ligger flomverdiene stort sett mellom 600 - 1200 l/s pr. km². De største verdiene er i meget små felt, hvor de i noen tilfeller kan være opp mot 1500 l/s pr. km², 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. km², med de største verdiene, over 2000 l/s pr. km², i felt et stykke innenfor kysten på Sør-Vestlandet og Vestlandet. I felt helt mot kysten er verdiene oftest i underkant av 2000 l/s pr. km², og i de østligste områdene rundt og noen ganger under 1500 l/s pr. km².

I Trøndelag, vassdragsområdene 116 tom. 143, ligger flomverdiene stort sett mellom 850 - 2000 l/s pr. km², med avtagende størrelser østover.

Døgnmiddelverdier for q1000 i middels store felt, 50 - 500 km².

På Østlandet ligger flomverdiene stort sett mellom 350 - 1100 l/s pr. km², under 500 l/s pr. km² lengst øst og over 1000 l/s pr. km² aller lengst vest i området.

På Sørlandet og Vestlandet ligger flomverdiene stort sett mellom 700 - 2500 l/s pr. km², med de største verdiene, over 2000 l/s pr. km², i felt et stykke innenfor kysten på Sør-Vestlandet og Vestlandet, og de minste, under 1000 l/s pr. km², i indre strøk på Sørlandet.

I Trøndelag ligger flomverdiene stort sett mellom 600 - 1800 l/s pr. km², med avtagende størrelser østover.

Døgnmiddelverdier for q1000 i store felt, > 500 km².

I enkelte felt på Vestlandet kan flomverdiene være større enn 1000 l/s pr. km², ellers varierer de ned til under 300 l/s pr. km² i meget store felt, større enn 6000 km², og i Glomma kanskje under 200 l/s pr. km². I Gaula i Sør-Trøndelag, et vassdrag med liten naturlig flomdempning, er flomverdiene på 850 - 750 l/s pr. km² for felt mellom 2500 - 3500 km². I Namsen ligger flomverdiene noe lavere, 800 - 600 l/s pr. km².

Døgnmiddelverdier for q1000 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. km² i kystnære felt på opp mot 100 km². I indre strøk av Nordland og Troms er flomverdiene under 1000 l/s pr. km² og ned mot 700 l/s pr. km². I Finnmark er flomverdiene stort sett under 1000 l/s pr. km². De største verdiene er på Finnmarkskysten, mens på Finnmarksvidda kan de være på ned mot 500 l/s pr. km², og i de store vassdragene ned mot 300 l/s pr. km².

7.3.2 Erfaringstall - kulminasjonsverdier i små felt

I NIFS prosjektet delprosjekt 5.1 (Stenius mfl., 2015) ble det sett på variasjoner av spesifikke flomverdier i ulike landsdeler i Norge.

Det ble både sett på verdier fra flomfrekvensanalyser, formelverk for små felt (NIFS formelverk) og en kombinasjon av begge metodene. Ved kombinasjonsmetoden er middelflom fra frekvensanalysen brukt sammen med vekstkurve fra formelverket. Denne metoden ble mest vektlagt ved fastsettelse av erfaringstallene her.

Analysene er gjort på findata som i de fleste tilfeller er timesverdier. Timesverdier representerer kulminasjonsverdien godt nok for de fleste felt, men for meget små og raske felt kan kulminasjonsverdien være høyere og i noen tilfeller vesentlig høyere enn timesverdien.

Det er stor variasjon på stasjonstetthet over landet, (se Figur 10). Deler av Nordland og Vestlandet er forholdsvis godt dekket, mens Troms og Finnmark og Trøndelag, samt store deler av Østlandet, er dårlig dekket. Også i Agder er det forholdsvis sparsomt med stasjoner. Dette medfører at «erfaringstallene», til dels bygger på et begrenset datagrunnlag og feilaktigheter/usikkerheter ved en stasjon kan ha stor innvirkning på verdiene.

Fylkesinndelingen er gjort etter gjeldende fylker per 2015.



Figur 10. Kartet viser høyeste «observerte» spesifikke flomverdier fra målestasjoner som er blitt brukt i NIFS prosjektet, delprosjekt 5.1 (Stenius mfl., 2015). Merk at «observerte» vannføringsverdier er beregnede verdier fra observerte vannstander som omregnes via en vannføringskurve. Ved f.eks. revisjon av vannføringskurven kan «observerte» verdier endres.

Spesifikke kulminasjonsverdier (timesverdier) - 200-års flom

På Østlandet (Hedmark, Oppland, Akershus, Oslo, Buskerud og deler av Telemark), vassdragsnummer 1- 16, varierer flomverdiene i stort fra 500 l/s· km² til 1500 l/s/km², men noen flomverdier er helt opp til 2000 – 2500 l/s/km² og helt ned i 400 l/s/km². Det

er relativt jevn geografisk spredning på flomverdiene, men de laveste verdiene finner en øst i området og/eller større felt med høy selvreguleringsevne.

På Sør- og Vestlandet (deler av Telemark, Agder, Rogaland, Hordaland, Sogn og Fjordane), vassdragsnummer 16 til ca. 92, varierer flomverdiene i stort sett fra 700 l/s/km² til 4000 – 5000 l/s/km², men det finnes flomverdier over 6000 l/s/km². De høyeste verdiene finner en stort sett i bratte felt med lav effektiv sjøprosent, men det finnes unntak.

I Trøndelag, Møre og Romsdal, vassdragsnummer ca. 93-126 (fra vassdragsnummer 127 – 149 finnes det ingen målestasjoner som er brukt i dette prosjektet), varierer flomverdiene i stort sett fra 800 – 3000 l/s/km². De høyeste verdiene finner en i Møre og Romsdal og for felt med lav selvreguleringsevne. Observer at det er svært få stasjoner i Trøndelag, særlig Nord-Trøndelag (se kart nede) og det er fullt mulig at variasjonen hadde sett annerledes ut hvis det hadde vært flere observasjoner.

I Nordland, vassdragsnummer ca. 150-186 (fra vassdragsnummer 127 – 149 finnes det ingen målestasjoner som er brukt i dette prosjektet), varierer flomverdiene stort sett fra 800 – 900 l/s/km² opp til 3000 - 4000 l/s/km². De høyeste verdiene finner en rundt Svartisen (der en finner verdier over 4000 l/s/km²) og langs kysten. De laveste verdiene finner en i indre strøk og/eller felt med høy selvreguleringsevne.

I Troms og Finnmark, vassdragsnummer 187 til 247, er det svært få stasjoner, men ut fra det begrensede datagrunnlaget som finnes ser flomverdiene i stort sett ut å variere fra 500 – 2000 l/s/km², men det finnes flomverdier over 3000 l/s/km² og helt ned til 400 l/s/km². De høyeste verdiene finner en langs kysten i Troms og sør i Finnmark og de laveste verdiene finner en på Finnmarksvidda, lengst øst i Finnmark og/eller for felt med høy effektiv sjøprosent.

7.4 Følsomhetsanalyser

NVE anbefaler at det utføres en følsomhetsanalyse for å vurdere hvor robuste flomestimatene er. I flomberegninger er det usikkerheter knyttet til blant annet datagrunnlag, beregningsmetoder og ev. hydrauliske forutsetninger.

Følsomhetsanalyser kan være et godt hjelpemiddel for å vurdere usikkerhet i flomestimatene og konsekvensen som følge av endringer i flomvannføringer. Den vil også være viktig ved fastsettelse av et ev. sikkerhetspåslag (sikkerhetsmargin). En følsomhetsanalyse er spesielt viktig når usikkerheten i datagrunnlaget er stor.

Anbefalinger om hvordan følsomhetsanalysen bør utføres, er avhengig av bl.a. formålet med flomberegningen. Ved følsomhetsanalyser for flomberegninger for dammer, se [NVE Veileder \(02/2022\)](#). Ved følsomhetsanalyser for utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak, se [NVE Veileder \(03/2022\)](#).

En følsomhetsanalyse bør utføres separat for hver enkelt komponent/parameter, slik at utslaget i resultatene vises hver for seg.

Dersom resultatene i flomberegningen bygger direkte på analyser av én vannføringsserie, vil kvaliteten på vannføringskurven være viktig for usikkerheten. Hvordan en ev. feil i vannføringskurven vil påvirke resultatene, kan f.eks. vurderes

gjennom å utføre frekvensanalyse på vannføringsseriens øvre konfidensintervall (97,5 persentil) (se Figur 2 og kap.3.1.1).

I enkle nedbør-avløpsmodeller eller mer avanserte hydrologiske modeller, kan følsomheten i simulert vannføring vurderes ved å variere inndata eller modellparametrene. For PQRUT kan man for eksempel variere nedbør, snøsmelting, vannmetning i bakken eller modellparametrene K_1 , K_2 og T .

Ved ruting og hydraulisk modellering, bør som et minimum følsomhetsanalyse utføres for dimensjonerende flom. Det anbefales at tilløpsflommen skaleres opp/ned med 10 %, 20 %, 30 % og 40 %. I tillegg kan det også være aktuelt å variere ulike forutsetninger, slik som kulminasjonstidspunkt og flomvolum. Følsomheten for endringer i hydrauliske parametre bør også sjekkes.

8 Klimapåslag for flom

Et endret klima kan medføre store endringer i flomstørrelser og flomregime. Norge er et langstrakt land med variert topografi og endringene vil derfor gi ulike utslag i ulike deler av landet.

For å unngå økning av skaderisiko i forbindelse med klimaendringer, anbefales det å legge på et klimapåslag på dagens dimensjonerende verdi for flom. Dette gjelder når det planlegges bygg, konstruksjoner eller infrastruktur med lang levetid.

Klimapåslaget reflekterer ventede effekter av klimaendringer fram til slutten av århundret ved høye utslipp av klimagasser. For tiltak med kort levetid (10–20 år), kan dagens dimensjonerende verdi benyttes uten klimapåslag.

8.1 Anbefalt klimapåslag

Klimapåslagene som anbefales for dimensjonerende flommer deles inn i følgende tre kategorier:

- 0 % for elvestrekninger der det beregnes en reduksjon i flomstørrelser
- 20 % for elvestrekninger der det beregnes en økning i flomstørrelser
- 40 % for elvestrekninger der det beregnes en stor økning i flomstørrelser

Anbefalingene baserer seg på rapportene *Klima i Norge 2100* (Hanssen-Bauer mfl., 2015) og *Klimaendring og framtidige flommer i Norge* (Lawrence, 2016). For informasjon om ventede klimaendringer, effektene av klimaendringene og anbefalte klimapåslag på flommer i nedbørfelt for et fylke henvises leseren til de fylkesvise [klimaprofilene](#) som er tilgjengelige på [Klimaservicesenteret \(KSS\)](#).

Klimapåslaget legges direkte på vannføringen. Ved ruting legges påslaget på tilløpsflommen. Det anbefales samme klimapåslag på tvers av alle gjentakintervall. Usikkerhet ved beregningsmetoder er ikke inkludert i klimapåslaget, og et sikkerhetspåslag (ut fra vurdering av usikkerheten i flomestimatet) må vurderes separat.

Ved anbefalinger av klimapåslag skiller en mellom nedbør og flom. I flomberegninger er det naturlig å legge anbefalingene for flom til grunn. Dette skyldes at flomstørrelsene er påvirket av flere faktorer enn bare nedbør, som for eksempel markvannsunderskudd, grunn- og grunnvannsforhold, snø-/snøsmelting og selvreguleringsevnen til nedbørfeltet.

For nærmere beskrivelse av hvordan klimapåslag anbefales brukt i praksis, henvises det til andre veiledere:

- Dammer og vassdragsanlegg: [NVE veileder \(02/2022\)](#)
- Reguleringsplan og byggesak: [NVE veileder \(03/2022\)](#)

Ulike aktører innen infrastruktur (eks. Statens vegvesen) har satt egne krav til klimapåslag.

For utvalgte elvestrekninger hvor det er utarbeidet et flomsonekart, er det gjort individuelle vurderinger av anbefalt klimapåslag. Disse anbefalingene fås i Vedlegg B i rapporten *Klimaendring og framtidige flommer i Norge* (Lawrence, 2016).

NVE arbeider med et nytt temakart for anbefalte klimapåslag for flom på elvestrekning-/elvestrengnivå. Temakartet vil dekke hele fastlands-Norge og er ventet å være klart i løpet av 2022.

8.2 Klimapåslag for små nedbørfelt

For små nedbørfelt og nedbørfelt som reagerer raskt på nedbør anbefales et klimapåslag på minst 20 % økning i vannføringen (Lawrence, 2016). I nedbørfelt som reagerer svært raskt på nedbør, og dermed er spesielt utsatt for økning i korttidsnedbør, anbefaler NVE at en benytter 40 % påslag i vannføring. I praksis betyr dette at om et nedbørfelt er mindre enn ca. 10 km² anbefales 40 % påslag i vannføring uavhengig av nedbørfeltets andre egenskaper. Om nedbørfeltet er større enn dette, bør nedbørfeltetegenskaper som høydefordeling, bratthet, effektiv sjøprosent og andre muligheter for flomdempning vurderes.

9 Referanser

- Andersen, J. H., Hjukse, T., Roald, L. og Sælthun, N.R. (1983). *Hydrologisk modell for flomberegninger* (NVE Rapport 2/83). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/1983/rapport1983_02.pdf
- Bakke, S. J. & Holmqvist, E. (2018). *Flomtilsig fra magasindata* (NVE rapport 50/2018). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_50.pdf
- Beldring, S. Roald, L. A. og Voksø, A. (2002). *Avrenningskart for Norge* (Rapport nr. 2). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/dokument/2002/dokument2002_02.pdf
- Byggteknisk forskrift (TEK17). (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk* (Byggteknisk forskrift). (FOR-2017-06-19-840). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>
- Damsikkerhetsforskriften. (2009). *Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg* (damsikkerhetsforskriften). (FOR-2009-12-18-1600). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-12-18-1600>
- Engeland, K., Glad, P., Hamududu, B., Li, H., Reitan, T. og Stenius, S. (2020). *Lokal og regional flomfrekvensanalyse* (NVE Rapport 10/2020). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020_10.pdf
- Engeland, K., Schlichting, L., Randen, F., Nordtun, K. S., Reitan, T., Wang, T., Holmqvist, E., Voksø, A. og Eide, V. (2016). *Utvalg og kvalitetssikring av flomdata for flomfrekvensanalyser* (NVE Rapport 85/2016). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_85.pdf
- Fergus, T., Høydal, Ø. A., Johnsrud, T.-E., Sandersen, F. og Schanche, S. (2011). *Skogsveger og skredfare : veileder* (NVE Diverse 2011). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra <http://publikasjoner.nve.no/diverse/2011/skogsvegerskredfare2011.pdf>
- Fergus, T., Hoseth, K. A. og Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka: Håndbok i vassdragsteknikk* (2.utg). Trondheim: Tapir akademisk. Hentet fra <https://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/G19-00801/2724146/>
- Filipova, V., Lawrence, D., Klempe, H. (2016). *Regionalisation of the parameters of the rainfall-runoff model PQRUT*, Hydrology Research, 47(4), 748-766. Hentet fra <https://doi.org/10.2166/nh.2016.060>
- Filipova, V., Lawrence, D., Skaugen, T. (2019). *A stochastic event-based approach for flood estimation in catchments with mixed rainfall and snowmelt flood regimes*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 19(1), 1-18. Hentet fra <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1-2019>

- Førland, E. J. (1992). *Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier (DNMI Rapport 21/1992)*. Oslo: Det norske meteorologiske institutt.
- Førland, E., Mamen, J., Grinde, L., Dyrddal, A. V. og Myrabø S. (2015). *Dimensjonerende korttidsnedbør* (NVE Rapport 134-2015). Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_134.pdf
- Førland, E. J & Tveito, O. E. (1997). *Temperatur og snødata for flomberegning (DNMI Rapport 28/1997)*. Oslo: Det norske meteorologiske institutt. Hentet fra https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-1997/_attachment/download/5d2d29d6-00b7-43ab-819c-8ed190e5af81:73874a7397d067db80b97197d1e48898d2fdadec/MET-report-28-1997.pdf
- Glad, P. A., Reitan, T. og Steinus, S. (2015). *Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt* (NVE Rapport 13-2015). Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_13.pdf
- Hallberg, K., German, J., Losjö, K. og Södling, J. (2016). *Hög tillrinning i reglerade vattendrag* (Energiforsk Rapport 2016:320). Stockholm: Energiforsk. Hentet fra <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22025/hog-tillrinning-i-reglerade-vattendrag-energiforskrapport-2016-320.pdf>
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Lawrence, D., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., and Ådlandsvik, B. (2015). *Klima i Norge 2100 – Kunnskapsgrunnlaget for klimatilpasning oppdatert i 2015* (NKSS rapport 2/2015). Oslo: Norsk klimaservicesenter. Hentet fra https://www.met.no/kss/_attachment/download/4140d58a-d368-4145-9c1f-e85de3d5fe74:1760c9f2c4acae80b91f61299dcf9e1187ce81cb/klima-i-norge-2100-opplag2.pdf
- Haugsrud, H., Midttømme, G. H., Straume, K. M., Marchand, W. D. (2022). *Flomberegninger for dammer* (NVE veileder 02/2022). Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/veileder/2022/veileder2022_02.pdf
- Lawrence, D. (2016). *Klimaendring og fremtidige flommer i Norge* (NVE Rapport 81/2016). Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_81.pdf
- Leine, A-L. Ø. & Lawrence, D. (2021). *Nedbør-avløpsmodellering med PQRUT for dimensjonerende flom: nye regresjonsligninger og stokastiske simuleringsmetoder* (NVE Rapport 34/2021). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_34.pdf
- Mamen, J., Benestad, R. og Haugen, J. E. (2011). *Analysis of short term precipitation in Norway 1967-2010* (MET rapport 15/2011). Oslo: Meteorologisk institutt. Hentet fra https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2011/_attachment/download/3e8772f9-e5fb-48b7-96e4-84e2a702955b:6d7ff6432eae33aaa8c6a77c632345845881bff2/MET-report-15-2011.pdf
- Mamen, J. (2009). *Dypdykk i klimadatabasen*. Naturen, 132(6), 250-267. Hentet fra <https://doi.org/10.18261/ISSN1504-3118-2008-06-01>

- Merz, R. & Blöschl, G. (2005). Flood frequency regionalization – spatial proximity vs. Catchment Attributes. *Journal of Hydrology*, 302, 283-306. Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.07.018>
- Midttømme, G., Pettersson, L., Holmqvist, E., Nøtsund, Ø., Hisdal, H., og Sivertsgård, R. (2011). *Retningslinjer for flomberegninger* (NVE Retningslinjer 4/2011). Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/retningslinjer/2011/retningslinjer2011_04.pdf
- NVE (2022): *Sikkerhet mot flom – utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak* (NVE Veileder 03/2022). Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/veileder/2022/veileder2022_03.pdf
- NVE (2011). *Flaum- og skredfare i arealplanar* (NVE Retningslinjer 2/2011). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/retningslinjer/2011/retningslinjer2011_02.pdf
- Paquet, E., Garavaglia, F., Garçon, R., Gailhard, J. (2013). *The SCHADEX method: A semi-continuous rainfall-runoff simulation for extreme flood estimation*. *Journal of Hydrology* 495, 23-37. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.045>
- Plan- og bygningsloven. (2008). Lov om planlegging og byggesaksbehandling. (LOV-2008-06-27-71). Hentet fra <https://lovdata.no/lov/2008-06-27-71>
- Roald, L. A. (2013). *Flom i Norge*. Tom & Tom. ISBN: 9788292916155
- Roald, L. A. (2021). *Floods in Norway*. (NVE-rapport 01/2021). https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_01.pdf
- Saloranta, T. (2014): *New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway*. NVE Rapport 6/14. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_06.pdf
- Saloranta, T. (2017): *Snøsmelting som funksjon av vind og lufttemperatur*. Upublisert internt NVE-notat.
- Skaugen, T. & Onof, C. (2014). *A rainfall runoff model parameterized from GIS and runoff data*. *Hydrological Processes*, 28, s 4529-4542. <https://doi.org/10.1002/hyp.9968>
- Stranden, H. B. & Holmqvist, E. (2017). *Snøsmelteintensiteter og graddagsfaktorer* (NVE rapport 86/2017). Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_86.pdf
- Stenius, S., Væringstad, T. Glad, P., Holmqvist, E., Engeland, K. og Ejigu, D. K. (2021). *Flomberegninger i regulerte felt – hvordan vassdragsreguleringer og flomforløp påvirker flomforholdene* (NVE rapport 21/2021). Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_21.pdf
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K. og Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* (NVE Veileder 7/2015). Oslo: Norges vassdrag- og

energidirektorat. Hentet fra

https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf

Statens vegvesen. (2021). *N200 Vegbygging* (vegnormal N200). Hentet fra <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859924/nb>

Statens vegvesen. (2020). *Vannhåndtering: Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering* (SSV Håndbok V240). Hentet fra <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v240-vannhandtering.pdf>

SWECO. (2013). *Flomberegninger for magasiner i Oltedalsvassdraget*. SWECO oppdragsrapport nr. 674811.

Sælthun, N. R. (1996). *The "Nordic" HBV model* (NVE Publication 7/1996). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/publication/1996/publication1996_07.pdf

Wilson, D., Fleig A. K., Lawrence, D., Hisdal, H., Petterson, L.-E. og Holmqvist, E. (2011). *A review of NVE's flood frequency estimation procedures* (NVE Report 9/2011). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/report/2011/report2011_09.pdf

1 Vedlegg

1.1 Vedlegg: Ordliste og definisjoner

Ord og faguttrykk	Forkortelse	Beskrivelse
Avløpsflom		Avløpsflom er flom ut fra et magasin eller en innsjø.
Dimensjonerende flom	Q_{dim}	Dimensjonerende flom er en beregnet flomvannføring, gjerne knyttet til et gjentakintervall, som benyttes for dimensjonering av en konstruksjon i eller langs et vassdrag.
Dimensjonerende flomvannstand	DFV	Dimensjonerende flomvannstand er den høyeste vannstanden i et magasin, innsjø eller langs et elveløp ved dimensjonerende flom.
Døgnmiddelverdi		Data med tidsoppløsning på ett døgn (midlet verdi over et døgn)
Feltegenskap		En feltegenskap er en egenskap ved nedbørfeltet som enten sier noe om de klimatiske forholdene (klimaparametre) eller de fysiografiske egenskapene (feltparametre) til nedbørfeltet. En feltegenskap påvirker både flomforløp og flomstørrelsen.
Findata		Findata er data med finere tidsoppløsning enn døgn.
Flomfrekvensanalyse	FFA	Flomfrekvensanalyser er statistiske analyser som relaterer flomstørrelser til gjentakintervaller. Man skiller mellom lokal og regional FFA, hvor lokal FFA er en analyse på observasjoner fra en enkelt målestasjon. Regional FFA er en analyse som inkl. FFA fra mange stasjoner. Regional FFA er også benyttet for utvikling av formelverk for umålte felt, eks. RFFA-2018.
Flomfrekvensfaktor (Vekstkurve)	Q_T/Q_M	Flomfrekvensfaktor (flomfrekvenskurve, vekstkurve) er forholdet mellom middelflom/medianflom Q_M (indeksflom) og flommer med høyere gjentakintervall Q_T .

Flomregime		Flomregime beskriver flommenes sesongvariasjon. Indirekte kan dette knyttes til hvilke prosesser som dominerer de store flommene i et gitt vassdrag. Dette er i all hovedsak regn, snø-/bresmelting eller en kombinasjon av disse.
Forholdstall mellom kulminasjon- og døgnverdi (kulminasjonsfaktor)	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$	Se kulminasjonsfaktor.
Gjentaksintervall	T	Et mål for hvor mange år det i gjennomsnitt er mellom hver gang en bestemt hendelse overskrides. Omtales også som returperiode.
Hypsografisk kurve		En grafisk fremstilling av høydefordelingen i et nedbørfelt.
Hydrogram		Et hydrogram viser avrenning/vannføring i forhold til tid. F.eks. viser et flomhydrogram hvordan vannføringen utvikler som over tid gjennom flomforløpet.
Indeksflom		Fellesbetegnelse for median-/middelflom
Intensitet – varighet – frekvens	IVF	Intensitet – varighet – frekvens (IVF)-kurver er en frekvensanalyse av nedbørdata og gir et estimat av verdier for korttidsnedbør for ulike varigheter og returperioder.
Knekkpunktverdier		Knekkpunktverdier er verdier som ikke har et fastsatt tidsskritt, men hvor tidsskrittet er av varierende lengde.
Kritisk varighet	V_M	Et empirisk estimat på varighet for flomforløp gjennom reguleringsmagasiner. Brukes i kombinasjon med konsentrasjonstiden for å si noe om tilstrekkelig varighet på flomforløpet for flomberegninger i vassdrag med reguleringsmagasiner. Kan også brukes i naturlige innsjøer med definerte overløp.

Konfidensintervall	%	Et konfidensintervall brukes til å angi usikkerhet for en måling eller beregnet verdi og relateres gjerne til en sannsynlighet. Omtales også som troverdighetsintervall og usikkerhetsintervall.
Kulminasjonsverdi, momentanverdi		Kulminasjonsverdi (momentanverdi) er den høyeste faktiske verdien av en flomhendelse, dvs. verdien der flommen kulminerer.
Kulminasjonsfaktor	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$	Forholdstall mellom kulminasjonsflom (momentanflom) og døgnmiddelflom.
Maksimal flomvannstand	MFV	Maksimal flomvannstand er den høyeste vannstanden som opptrer i magasinet ved påregnelig maksimal tilløpsflom.
Medianflom		Den midterste flomobservasjonen i en flomserie sortert fra minst til størst.
Middelflom	Q_M	Middelflommen er gjennomsnittet av den største vannføringen hvert år (alt. sesong).
Markfuktighet/markvanninnhold		Beskriver hvor mye vann som er i tilgjengelig i markvannssonen.
Nedbør- avløpsmodeller	NA	Nedbør- avløpsmodeller simulerer respons på nedbør og ev. snøsmelteforløp og omregner dette til vannføring i et gitt nedbørfelt.
Påregnelig maksimal flom	PMF	Påregnelig maksimalflom er den største flomstørrelsen som kan opptre ved en kombinasjon av de mest ugunstige meteorologiske og hydrologiske forhold. PMF benyttes for eksempel ved kontroll av dammers sikkerhet i ulykkesgrensetilstand.
Påregnelig maksimal nedbør	PMP	Påregnelig maksimal nedbør er den teoretisk største nedbøren som er fysisk mulig for et gitt nedbørfelt til en gitt tid på året.
Regional flomfrekvensanalyse	RFFA	Se Flomfrekvensanalyse (FFA).
Returperiode	T	Se gjentakintervall.

Stokastisk simuleringsmetoder		Stokastiske simuleringsmetoder er en metode som via en hydrologisk modell simulerer et stort antall flomvannføringer ut fra ulike kombinasjoner av nedbørverdier, nedbørsekvenser og initialtilstander.
T-års flom	Q_T	En flom (Q) med gjentaksintervall T år. Det betyr at det er sannsynlighet på $1/T$ for at flommen skal overskrides et hvilket som helst år.
T-års nedbør	P_T	Nedbør (P) med gjentaksintervall T år.
Tilløpsflom		Tilløpsflommen består av tilløp fra uregulert lokalfelt, tillagt avløpsflom fra eventuelle oppstrøms magasin og overføringer. I beregnet tilløpsflom er dermed selvreguleringen i oppstrøms magasin/innsjøer medregnet
Tilsgissserie		Tilsgissserie i et regulert vassdrag beskriver den vannføring en ville hatt om en tar bort effekten av alle oppstrøms magasiner og overføringer inn eller ut av vassdraget.
Totalavløp		Totalavløp er summen av vannføringer fra et magasin. Dette kan bestå av for eksempel overløp, forbitapping (f.eks tapping gjennom luker), driftsvannføring.
Troverdighetsintervall		Troverdighetsintervallet (konfidensintervallet) viser intervallet der verdien, med X prosents sannsynlighet, ligger. For eksempel viser 95 prosents troverdighetsintervallet (95 persentilen) at verdien med 95 % sannsynlighet ligger innenfor dette intervallet.
Ulykkesflom		Ulykkesflom omfatter Påregnelig Maksimal Flom (PMF) og andre flomrelaterte ulykkessituasjoner som en dam eller annen infrastruktur skal kontrolleres for i ulykkesgrensetilstand.
Vannføringskurve		Vannføringskurve beskriver sammenhengen mellom vannstanden og vannføringen for et punkt i en elv eller innsjø.

Vannhusholdningsdata		Felles navn for data som: magasin vannstander, driftsvannføringer, flomtap, overførte vannmengder osv.
Vassdragsmodell		En vassdragsmodell prøver å simulere hvordan vannet beveger seg gjennom vassdraget og dets tilhørende nedbørfelt. I en vassdragsmodell inngår det ofte en hydrologisk modell (nedbør-avløps modell), ruting moduler og/eller hydrauliske modeller. Som alternativ til NA-modell kan vannføring brukes direkte inn i modellen. Et eksempel på en enkel vassdragsmodell er PQRUT ved bruk av både nedbør-avløps- og rutingmodul.
Vekstkurve		Se flomfrekvensfaktor.
Volumkurve/magasinkurve		Kurve eller tabell som viser forholdet mellom vannstand og voluminnhold av vann i et magasin eller en innsjø

1.2 Vedlegg: Feltegenskaper – feltparametre og klimaparametre

En feltparameter angir en målestørrelse av et element i et nedbørfelt. Sentrale feltparametre kan bestemmes ut fra et godt kartgrunnlag, der særlig nedbørfeltets areal vil være en viktig parameter for alle metoder innen flomberegninger. Feltparametre hentes/beregnes i NVEs kartapplikasjon [NEVINA](#) eller bestilles fra en kartkonsulent. Spørsmål gjeldende NEVINA kan rettes til NVEs seksjon for geoinformasjon ved hydrologisk avdeling. Under listes opp en beskrivelse av de mest sentrale feltegenskapene når en utfører flomberegninger. For å lese mer om feltegenskaper og representativitet klikk her.

Feltparameter	Forkortelse	Enhet	Beskrivelse
Bre	A _{BRE}	%	Andel bre i nedbørfeltet
Dreneringstetthet	D _T	km ⁻¹	Dreneringstetthet, [km ⁻¹]. Definert som total lengde av elver i nedbørfeltet delt på nedbørfeltareal (E _L /A). D _T er sterkt korrelert med gjennomsnittlig avstand fra hvert punkt i feltet, så den har en betydning for responstid på nedbør.
Effektiv sjøprosent	A _{SE} eller S _{eff}	%	Effektiv sjøprosent (A_{SE} eller S_{eff}) er definert som $100 \cdot \sum(A_i \cdot a_i) / A^2$ Hvor a_i: er innsjø i's overflateareal A_i: er det totale tilsigsarealet til samme innsjø A: er hele nedbørfeltets areal Alle arealer oppgis i samme enhet, f.eks. km². Parameteren er utviklet for å beskrive effekten av innsjøenes beliggenhet i feltet. Hver innsjø vektes ikke bare etter overflateareal, men også etter tilsigsareal. Innsjøer langt nede i feltet vil ha større effekt på flomdempning enn innsjøer nær vannskillet. Ved beregning av innsjøenes areal må det særlig vektlegges å oppnå korrekt areal på de store innsjøene og innsjøene langt nede i vassdraget, fordi de vil

			ha større innvirkning på ASE-verdien sammenlignet små sjøer og/eller sjøer langt oppe i feltet. Parameteren kan også beregnes i NEVINA .
Elvegradient eller hovedelvas gradient	E_G	m/km	Elvegradient eller hovedelvas gradient (E_G) oppgis i m/km, og er definert som $\Delta h/E_L$ Der Δh er total høydeforskjell langs hovedelvas lengde E_L . Parameteren kan beregnes i NEVINA .
Elvelengde	E_L	km	Elvelengde (E_L) i km, er hovedelvas lengde slik den er definert på kartet. Hovedelva ved et samløp er definert som den av elvene som har størst tilsigsareal. Den måles med samme kartgrunnlag som feltarealet. Parameteren kan beregnes i NEVINA .
Feltareal	A	km ²	Feltareal (A) er nedbørfeltets areal i km ² . Arealet kan måles ved hjelp av ulike kart/GIS-verktøy eller med NVEs kartapplikasjon NEVINA . Nedbørfeltet kan ha usikre feltgrenser der det er myr eller tjern som drenerer til to vassdrag, der et elveløp deles i to eller for felt med større breer eller karstområder der vannskillet ikke alltid følger overflatetopografien. Dersom man er usikker på kartes indikasjon av feltgrenser kan dette kontrolleres ved feltbefaring. Særlig i flatt terreng kan det være vanskelig å fastlegge vannskillet kun basert på kart eller flyfoto.
Feltlengde eller feltaksens lengde	F_L el. L_F	km	Feltlengde eller feltaksens lengde (F_L , kan også benevnes L_F) i km, defineres som en rett linje lagt fra feltets utløp/målested til det fjerneste punktet på vannskillet. Ved beregning av tilløpsflom til magasin/innsjø beregnes feltlengden fra der innløpselven renner inn i magasinet/innsjøen til det fjerneste punktet på vannskillet. Den måles med samme kartgrunnlag som feltarealet. Begge variantene av parameteren kan beregnes i NEVINA .

Helning	H_L	m/km	Helningen i feltet/relieff-forhold [m/km]. Definert 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.
Konsentrasjonstid	T_c	time	Konsentrasjonstiden til et nedbørfelt beskrives som den tiden det tar for vannet å bevege seg gjennom elvenettverket fra de fjerneste delene av nedbørfeltet til utløpet.
Middelavrenning / Normalavrenning	q_N	l/s/km ² (mm/år)	Avrenning er den totale vannmengden som renner ut av et område, enten som overflateavrenning eller som grunnvannsavrenning. Avrenning er altså lik differansen mellom nedbør og fordampning, forutsatt at endringer i magasinert vannvolum er lik null. Middelavrenning eller normalavrenning, (q_N) i l/s/km² eller mm/år er definert som midlere vannføring i en gitt referanseperiode (som regel 30 år), delt på feltarealet. Middelvannføringen bestemmes ut fra observasjoner i feltet eller ut fra avrenningskart for gjeldende klimaperiode. Konvertering mellom l/s/km² og mm/år kan gjøres ved å bruke en faktor på 31,55. Avrenningskartet finnes digitalt som en del av NVEs kartapplikasjon NEVINA. Eventuelt kan man benytte den lengste tilgjengelige dataserien man vurderer kan være representativ for feltet.
Middelvannføring/ Midlere vannføring	Q_N	m ³ /s	Midlere (gjennomsnittlig) vannføring i en gitt referanseperiode (som regel 30 år). Middelvannføringen bestemmes ut fra observasjoner i feltet eller ut fra avrenningskart for gjeldende normalperiode. Eventuelt kan man benytte den lengste tilgjengelige dataserien man vurderer kan være representativ for feltet.
Midlere årstilsig/ Middeltilsig		mill. m ³ /år	Midlere (gjennomsnittlige) akkumulert vannføring pr. år for en gitt referanseperiode (som regel 30 år).

Midlere årsnedbør	P_N	mm	Midlere årsnedbør (P_N) i mm er den gjennomsnittlig årlige nedbøren i gjeldene normalperiode (i dag 1961 – 1990). Denne bestemmes ut ifra målinger i felt eller fra kart over gjennomsnittlig årsnedbør fra Meteorologisk Institutt. Parameteren kan også hentes ut i NEVINA (gammelt kartgrunnlag).
Relieff-forhold	H_L	m/km	Relieff-forhold (H_L) oppgis i m/km, og er definert som $H_{75}-H_{25}/F_L$ der $H_{75}-H_{25}$ er høydeforskjell i meter mellom 25- og 75- % passasjen på feltets hypsografiske kurve og F_L er feltlengden i km.
Reguleringsgrad-areal		%	Forholdet mellom totalt reguleringsareal og en målestasjons naturlige feltareal. Reguleringsgrad areal kan variere mellom 0 og 100 %.
Reguleringsgrad - magasin.		%	Forholdet mellom summen av volumene (mill m^3) mellom høyeste regulerte vannstand (HRV) og laveste regulerte vannstand (LRV) i alle reguleringsmagasin i målestasjonens naturlige nedbørfelt, og middeltilsig (mill m^3) i gjeldende normalperiode. Reguleringsgrad volum kan bli større enn 100 %.
Snaufjellprosent	A_{SF}	%	Snaufjellprosent (A_{SF}) er areal av snaufjell i % av feltarealet. Prosenten bestemmes fra kart/GIS-verktøy. Parameteren omfatter arealer over skoggrensa som på kartet ikke er definert som innsjø, myr, bre, skog, jordbruk- eller tettstedsområde. Parameteren kan også beregnes i NEVINA .

1.3 Vedlegg: NVEs database og analyseprogramvare – Hydra II

HYDRA II-systemet består av database og analyseprogramvare for hydrologiske og meteorologiske data. Systemet er utviklet ved Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og energidirektorat. Primært for intern bruk i NVE, men det er mulig for andre å leie tilgang. Spørsmål om tilgang kan rettes til hydrology@nve.no.

De mest brukte programmer som inngår i Hydra II-systemet er:

HYSOPP (HYdrologisk Stasjon og serie OPPlysninger). Dataprogram som har opplysninger om hydrometriske stasjoner, vannføringskurver, feltparametrer, magasintabeller, høyde på skala m.m., dvs det aller meste av metadata, men ikke selve tidsseriene. (Windows-program, mens de øvrige er Linux-program)

DAGUT Dataprogram med presentasjon, analyse og statistikk av hydrologiske og meteorologiske data med tidsskritt døgn og lengre. Bl.a. flomfrekvensanalyse.

FINUT Samme som DAGUT, men for data med tidsskritt døgn og kortere.

VFTAB Tabeller og figurer over vannføringskurver for hydrometriske stasjoner. I tillegg mulighet for oversikt over vannføringsmålinger som ligger til grunn for aktuell kurve.

CHECK_HOMOGENITY Sjekk om vannføringsserier er homogene. For eksempel kan årsmaksima homogenitetssjekkes.

FLOM_ANALYSE – Dette programmet foretar lokal flom-frekvens-analyse på en nyere og mer oppdatert måte enn den man finner i FINUT/DAGUT. Det er derfor vårt foretrukne program for slik analyse. Programmet kan foreta det vi kaller full *lokal+regional analyse* på døgndata. Bruksanvisning finnes under www.nve.no eller [her](#).

Arkiver - ulike datasett for tidsserier som kan benyttes i analysene gjennom programmene nevnt over:

HYDAG (HYdrologiske DAGlige data) Arkiv for permanent lagring av data med tidsoppløsning ett døgn. Data fra HYKVAL regnes om til døgnverdier og overføres etter kontroll og korreksjon (sekundærkontroll) til HYDAG. Data på HYDAG er korrigert for eventuelle oppstuvningseffekter, oftest pga is om vinteren, i tillegg er manglende data rekonstruert.

HYKVAL (HYdrologiske KVALitetskontrollerte data) Arkiv for kontrollerte og kvalitetsvurderte data (primærkontroll) med tidsskritt slik det er målt/observert. Data er kontrollert og ev. korrigert til å vise korrekt observert vannstand, men inneholder ikke subjektive justeringer som korrigering av isoppstuede vannføringer eller rekonstruksjon av manglende data.

HYTRAN (HYdrologisk TRANsaksjonstabell) Ukontrollerte rådata. Grunnlaget for alle data som leses inn i de historiske arkivene i Hydrologisk avdelings systemer. Fra HYTRAN føres data over til HYKVAL. Ukontrollerte data arkiveres varig også på HYTRAN, slik at man alltid kan få tilgang til originaldata.

SANNTIDSDATA Ukontrollerte data fra de siste 1-2 årene. Data fra sanntidsarkivet overføres til HYTRAN med normalt 10-14 døgns forsinkelse. Data på sanntidsarkivet kan ha aksessbegrensning.

KOMPLETT Virtuelt arkiv som kombinerer andre arkiver ved uthenting av data. Ved valg av arkivet «KOMPLETT» lages lengst mulig sammenhengende tidsserie ved å hente alle tilgjengelige data og skjøte sammen slik at man bruker kontrollerte data så langt dette finnes og skjøter på med ukontrollerte data. Data hentes i prioritert rekkefølge fra HYDAG (om det er spurt om døgndata), HYKVAL, HYTRAN og Sanntidsarkivet.

FINDATA UTEN ISREDUSERTE DATA Virtuelt arkiv (ikke fysisk lagret). Findata der isreduserte dager fjernes ut fra en sammenligning med data på døgnoopløsning fra HYDAG og HYKVAL.

VIRTUELT ISREDUSERTE FINDATA Virtuelt arkiv (ikke fysisk lagret). Findata justeres ned slik at døgnmiddelverdien stemmer med de isreduserte døgnerverdiene, men variasjonen over døgnet beholdes.

1.4 Vedlegg: Kontroll av hydrologiske data ved Hydrologisk avdeling i NVE

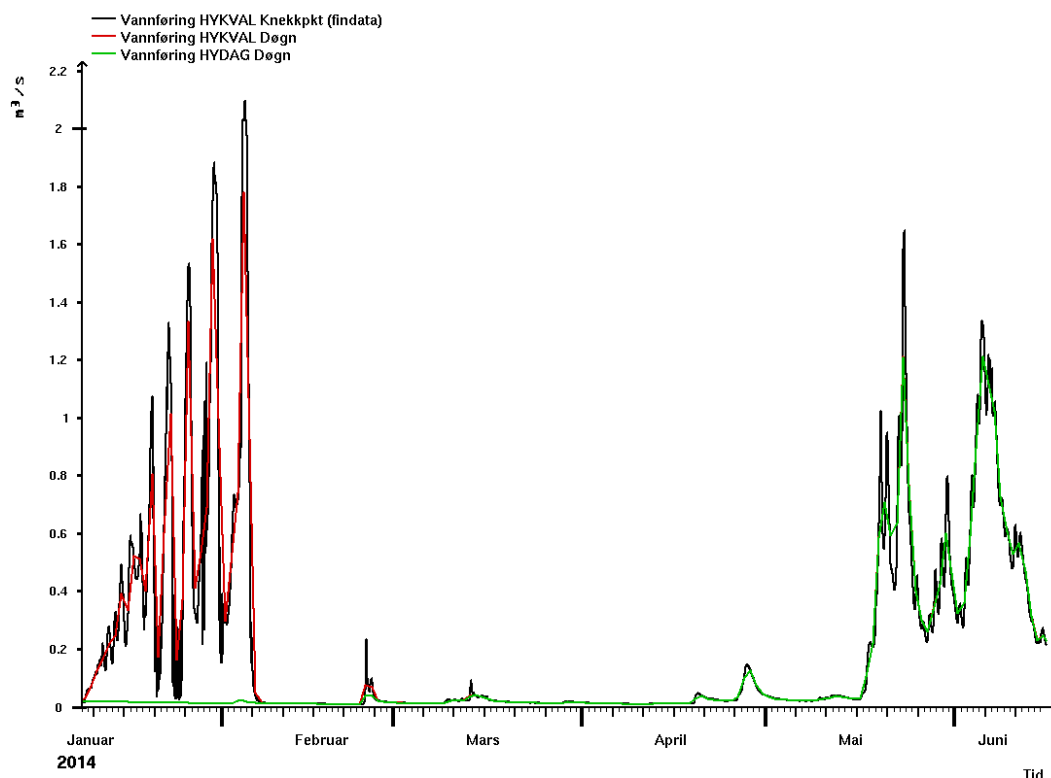
Kontroll av hydrologiske data i NVE ved Hydrologisk avdeling utføres i to steg: primærkontroll på bakgrunn av Hytran findataserier (rådata) som etter kontroll lagres på Hykval (kontrollerte data med fin tidsoppløsning) og sekundærkontroll av HYDAG_T døgnmiddelserier (døgnavledninger av Hykval data) som etter kontroll lagres på arkivet HYDAG (kontrollerte og ev. korrigerte og rekonstruerte døgndata).

Om findata og primærkontroll

Data med fin tidsoppløsning er alle data med finere tidsoppløsning enn døgn og er tilgjengelig bla. på arkivet Hykval. Nyere data lagres stort sett med timesoppløsning, men for små nedbørfelt og raske endringer i vannføring kan det være kortere tidsskritt, ofte 15 eller 30 minutter. Eldre data med fin tidsoppløsning er gjerne digitaliserte verdier fra limnigrafskjemaer og lagret som knekkpunktverdier.

Data med fin tidsoppløsning er kontrollert og korrigert til å vise korrekt observert vannstand (primærkontrollert), men ikke rekonstruert for manglende data eller korrigert for isoppstuvning om vinteren. Hensikten med primærkontrollen er å kontrollere og ev. korrigere data til å vise korrekt observert vannstand. Feil i data kan variere fra defekt måleutstyr til fysiske forhold som innfrysing eller manglende vann, kommunikasjon m.m. Merk at i primærkontrollen gjøres det ingen subjektive justeringer som korrigering av isoppstuede vannføringer eller rekonstruksjon av manglende data.

Hvis analyser skal gjøres på vannføringsserier med fin tidsoppløsning er kvalitetskontroll ekstra viktig. Dette fordi data på findataarkivet Hykval kan inneholde høye verdier som skyldes oppstuvningseffekter av is eller annet som ikke representerer reelle vannføringer. Som et minimum bør de største flommene i en findataserie derfor kontrolleres mot data fra døgnavledninger for å verifisere at flommene er vurdert som reelle. Figur 11 viser et eksempel der flommene i januar/februar er vurdert som «ikke reell vannføring/isoppstuvning». Flommen er dermed korrigert i NVEs sekundærkontroll og lagret som en mye lavere vannføring på døgnavledninger Hydag, sammenlignet med de verdier som er lagret på findataarkivet Hykval. I dette eksemplet er flommen i mai/juni vurdert som den største observerte flommen i stedet for de falske flomtoppene i januar/februar, noe man kunne tro hvis man kun ser på findata (data fra Hykval-arkivet).



Figur 11. Figuren viser data fra arkivet Hykval med tidsoppløsning knekkpunkt (sort) og tidsoppløsning døgn (rød) samt døgndata fra arkivet Hydag med tidsoppløsning døgn (grønn stiplet).

Om døgndata og sekundærkontroll

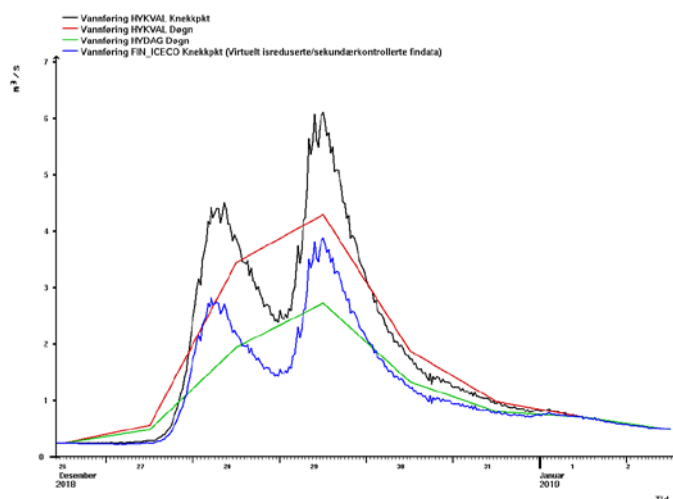
De fleste hydrologiske målestasjonene ble utstyrt med kontinuerlig registrerende utstyr på 1960-70 tallet. Derfor vil mange av de lange måleseriene inneholde data som i starten ble manuelt avlest en gang i døgnet. Man antar i dag at de daglige avlesningene representerer døgnmiddelverdier, men disse kan i virkeligheten ha vært både større og mindre enn de virkelige døgnmiddelverdiene. Døgnmidler er basert på kontinuerlige registreringer beregnet for kalenderdøgn. Beregner man døgnmidler for største 24-timers middel vil dette ofte være noe høyere sammenlignet med kalenderdøgnmidler.

Døgndata er blant annet tilgjengelig i arkivet Hydag. Data lagret på Hydag er sekundærkontrollert som betyr at data er korrigert for eventuelle isoppstuede vannføringer om vinteren og rekonstruert ved eventuell datamangel. Hensikten med sekundærkontroll er å produsere korrekte og komplette vannføringsdata.

Døgndata med rekonstruerte år eller lengre perioder burde brukes med forsiktighet i analyser av vannføringsserier. Flomdata kan i slike tilfeller være svært usikre. Enten fordi flomdataene er rekonstruerte verdier, eller fordi en annen flomverdi enn den rekonstruerte i realiteten var årets høyeste. Tradisjonelt sett er det mest vanlig å bruke data fra Hydag-arkivet til flomanalyser på døgnooppløsning. Et alternativ til Hydag er å benytte døgnmidling av data enten fra Hykval eller arkivet som inneholder findata med fjerning av isreduerte dager.

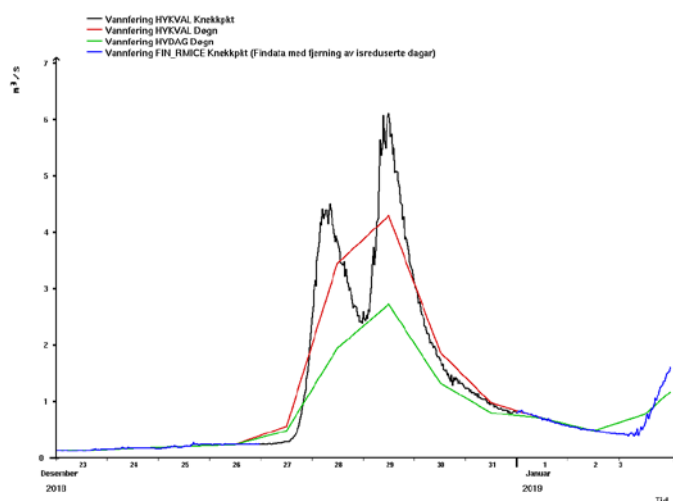
1.5 Vedlegg: Arkivene «Virtuelt isreduserte findata» og «Findata med fjerning av isreduserte dager»

På arkivet «Virtuelt isreduserte data» justeres findata ned slik at døgnmiddelverdien stemmer med de isreduserte døgnverdiene (data på arkivet Hydag), men variasjonen over døgnet beholdes, se Figur 12. Resultatet gir komplette og virtuelt isreduserte findata. Dette arkivet vurderes som et nyttig verktøy ved frekvensanalyser på findata, særlig på tidsserier med mye isoppstuvning.



Figur 12. Figuren viser findata uten isreduksjon (sort) og døgndata uten isreduksjon (rød), fra arkivet Hykval. Isreduserte døgndata fra arkivet Hydag (grønn) og virtuelt isreduserte findata fra arkivet «Virtuelt isreduserte findata» (blå).

Arkivet «Findata med fjerning av isreduserte dager» fjerner automatisk perioder der avviket mellom døgnverdier på Hykval og Hydag avviker over en bestemt verdi, se Figur 13. Perioder med manglende data kan også skyldes andre avvik enn isoppstuvning. Slike avvik kan være forholdsvis små og hvis en er uheldig kan flomhendelser som er av interesse bli fjernet. Fjerning av verdier betyr at tidsserier på arkivet ikke er komplette.



Figur 13. Figuren viser isreduserte døgndata (grønn), findata med fjerning av isreduserte dager (blå), findata uten isreduksjon (sort) og døgndata uten isreduksjon (rød).

1.6 Vedlegg: PQRUT

I dette vedlegget gis en oversikt over [PQRUT](#) sin

- a) modellstruktur
- b) modellparametre: både for målte og umålte felt.
- c) nødvendig input til modellen

Generelle anbefalinger knyttet til bruk av PQRUT ved beregning av dimensjonerende flom er innarbeidet i dette vedlegget, og en kortversjon av arbeidsgang for bruk av PQRUT fås i vedlegg 1.10.

Mer informasjon om PQRUT og estimering av modellparametre fås i Leine & Lawrence (2021) eller i Andersen mfl. (1983). PQRUT sin nedbør-avløpsmodell er også tilgjengelig i [NEVINA](#) under fanen «nedbør-avløpsmodell».

Nedbør-avløpsmodellering med ruting ([PQRUT](#)) er mye brukt innen damsikkerhet i Norge. PQRUT har vært/er fremdeles tilgjengelig i NVE sine systemer (Hydra II) og kodet i Fortran. Det har lenge vært etterspurt et noe mer moderne brukergrensesnitt til disse verktøyene, og det er derfor laget en ny webversjon av [PQRUT](#). Denne inkluderer ruting og er tilgjengelig for alle som brukergrensesnitt via nettleseren.

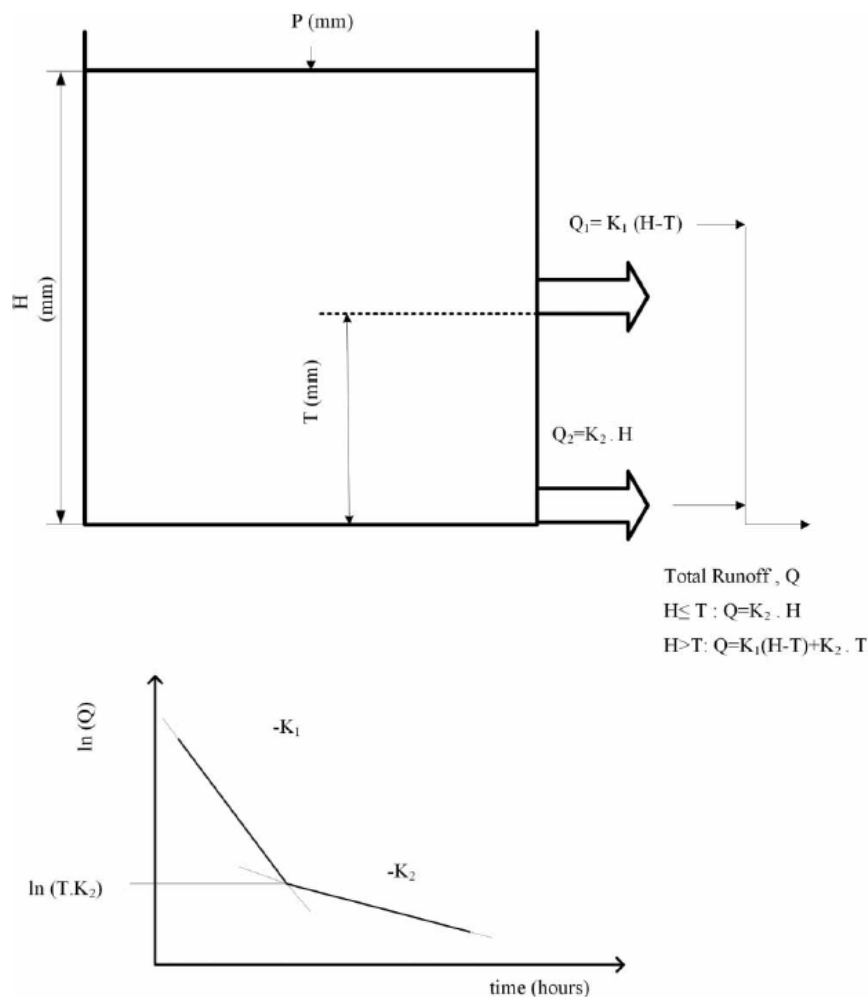
1.6.1 Modellstruktur

Nedbør-avløpsmodellen i [PQRUT](#) er en enkel, hendelsesbasert modell utviklet av NVE på 80-tallet (Andersen mfl., 1983). Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen og beregner vannføring fra et fastlagt nedbørforløp som representerer en nedbørhendelse med et høyt gjentakintervall.

I PQRUT sin nedbør-avløpsmodell er nedbørfeltet representert ved en karmodell hvor avløpet antas å være proporsjonalt med vanninnholdet i karet (Andersen mfl., 1983). Avløpet beregnes ved å lede nedbøren gjennom et kar som er modellert med to utløpskoeffisienter, K_1 og K_2 , se Figur 14. En «åpning» i veggen har som funksjon å forsterke feltets reaksjon (K_1) når innholdet i karet når terskelnivå, T .

Modellen har tre modellparametre:

- K_1 : Tømmekonstant for øvre nivå [tid^{-1}]
- K_2 : Tømmekonstant for nedre nivå [tid^{-1}]
- T : Terskelnivå, skille mellom øvre og nedre nivå [mm]



Figur 14. Modellstruktur, PQRUT (Filipova mfl., 2016).

Via de tre parametrene gis formen til hydrogrammet. K_1 og K_2 kan fortolkes som helningen av flomforløpets resesjonsdel dersom denne plottes logaritmisk, se nederste graf i Figur 14. Her beskriver K_1 den raskeste avrenningen etter kulminasjonen, mens K_2 beskriver avrenningen på et seinere tidspunkt når vannføringen er lavere. Høye verdier for K_1 medfører altså rask avrenning ved høy maksimalvannføring, mens lav verdi medfører større demping og et tregere avrenningsforløp.

Modellen har blitt utvidet til å inkludere en markvannssone som gjør det mulig å definere én initialtilstand som representerer hele feltet. Det er også lagt inn et anslag på fordamping hvor tapet beregnes ut fra innsjøareal i feltet.

1.6.2 Kalibrering eller estimering av modellparametre

Modellparametrene (K_1 , K_2 og T) bør kalibreres for at [PQRUT](#) skal gi et best mulig flomestimat. Kalibrering krever tilgang på representative nedbør- og vannføringsdata.

Hvis modellen skal brukes for umålte felt må de tre modellparametrene *estimeres*. Det er derfor gjort en regionalisering hvor man har etablert regresjonsligninger for å fastsette de tre parameterne via feltegenskaper. Andersen mfl. (1983) utviklet i 1983 det første settet med regresjonsligninger. Med tilgang på lengre tidsserier av bedre

kvalitet og finere oppløsning av data, ble det i 2016 etablert nye ligninger av Filipova mfl.. I Leine & Lawrence (2021) er det gjort en sammenligning av de to ligningssettene fra hhv. 1983 og 2016, hvor man anbefaler at ligningssettet fra 2016 tas i bruk. Dersom flomestimat (med 2016-ligningene) rimer dårlig med de andre statistiske metodene, vurder også PQRUT-estimat med 1983-ligningene og begrunn valget.

1.6.2.1 Kalibrering av tømmekonstantene (K_1 , K_2 , T)

Kalibrering forutsetter at det finnes nedbør- og vannføringsdata av fin tidsoppløsning. Merk at vannføringsdata også kan være beregnede tilsigsserier (se kap.3.1.33.1.3) med tilstrekkelig fin tidsoppløsning som er representative for feltet. Det anbefales at parameterverdier beregnet ut fra ligninger (se ligninger 1-3 (2016) og 4-6 (1983)) blir brukt som første estimat ved kalibrering.

I Leine & Lawrence (2021) gis det en oversikt over kalibrerte verdier for K_1 , K_2 og T for 49 felter som var med i 2016-studien. Disse kan brukes for sammenligning.

1.6.2.2 Estimering av tømmekonstantene (K_1 , K_2 , T)

Både grunnlagsdata (feltparametre) og ligningssettet fra 2016 og 1983 er å finne i hhv. [NEVINA](#) og [PQRUT](#). Ligningene for estimering av modellparameterne K_1 , K_2 og T er strengt tatt kun gyldige for det parameterspenget som er benyttet i datagrunnlaget som ble benyttet for å etablere ligningene, se Tabell 11. Parametre bør benyttes med forsiktighet når de ligger utenfor disse intervallene.

Ligninger fra 2016:

$$K_1 = 0.031 - 0.0343 \cdot A_{\text{SKOG}} - 1.35 \cdot 10^{-5} \cdot P - 0.0102 \cdot \ln(A_{\text{SE}}/100) + 1.83 \cdot K_2 \quad (1)$$

$$K_2 = -0.031 + 0.000521 \cdot H_L - 0.004184 \cdot \ln(A_{\text{SE}}/100) + 0.01026 \cdot D_T \quad (2)$$

$$T = 7.31 + 0.00636 \cdot P + 1.591 \cdot K_2^{-0.6} - 0.5343 \cdot \ln(A_{\text{SE}}/100) - 0.09283 \cdot L_F \quad (3)$$

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

A_{SKOG} : andel skog (arealfraksjon) [-]

P : årlig nedbør [mm/år]

A_{SE} : effektiv sjøprosent [%]. Definert som $100 \cdot \sum (A_i \cdot a_i) / A^2$, der a_i er innsjø i's overflateareal, A_i er det totale tilsigsarealet til samme innsjø og A er hele nedbørfeltets areal.

H_L : helningen i feltet/relieff-forhold [m/km]. Definert 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.

D_T : dreneringstetthet, [km⁻¹]. Definert som total lengde av elver i nedbørfeltet delt på nedbørfeltareal (E_L/A). D_T er sterkt korrelert med gjennomsnittlig avstand fra hvert punkt i feltet, så den har en betydning for responstid på nedbør.

L_F : feltaksens lengde [km]. Lengden fra utløpet av nedbørfeltet til det fjerneste punktet på feltgrensen.

Ligninger fra 1983:

$$K_1 = 0.0135 + 0.00268 \cdot H_L - 0.01665 \cdot \ln(A_{SE}) \quad (4)$$

$$K_2 = 0.009 + 0.21 \cdot K_1 - 0.00021 \cdot H_L \quad (5)$$

$$T = -9.0 + 4.4 \cdot K_1^{-0.6} + 0.28 \cdot q_N \quad (6)$$

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

H_L : helningen i feltet/ relieff-forhold [m/km]. Definert 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.

A_{SE} : effektiv sjøprosent [%]. Definert som $100 \cdot \Sigma(A_i \cdot a_i)/A^2$, der a_i er innsjø i's overflateareal, A_i er det totale nedbørfeltarealet til samme innsjø og A er hele nedbørfeltets areal.

q_N : Middelavrenning, 1961-1990 [l/s/km²].

Andersen mfl. (1983) anbefaler at dersom nedbørfeltet har en stor andel myr og/eller bart fjell, bør K_1 -verdien justeres. Praktisk erfaring med korrigering av K_1 -verdiene (fra 1983-ligningene) kan stedvis gi for store flomestimat, og flomestimatet bør derfor vurderes før endelige verdier for K_1 settes. Datagrunnlaget bak anbefalingene om korrigering av K_1 -verdier er dessuten forholdsvis begrenset. Filipova mfl. (2016) anbefaler ikke korrigering av modellparametrene ved bruk av 2016-ligningene.

Tabell 11. Gyldighetsintervall for bruk av PQRUT med ligningene fra 2016 og 1983 (Filipova mfl., 2016, Andersen mfl., 1983)

Variabel	Enheter	Parameterspenn 1983	Parameterspenn 2016
Helning, H_L	m/km ²	1,7 -72	2,8-61
Effektiv sjøprosent, A_{SE}	%	0 -7,7	0- 10
Årlig avrenning, q	l/s/km ²	13 -105	14 - 112
Dreningingstetthet, D_T	km/km ²	-	0,8 - 2,7
Andel skog, A_{SKOG}	-	-	0 - 0,94
Årlig nedbør, P	mm	-	510 – 4671
Feltlengde, L_F	km	-	2,4 - 66
Areal, A	km ²	0,4 -792	6-1092

1.6.2.3 Feltparametrenes effekt på modellparametrene

Bratthet/Helning (H_L)

- Vær oppmerksom på at de to ligningssettene kan gi store forskjeller for spesielt slake felt (lav H_L).

Effektiv sjøprosent (A_{SE}):

- Når effektiv sjøprosent blir stor, vil utløpsforholdene fra innsjøene i feltet få en stadig større betydning for den hydrologiske responsen. Innsjøer med trange utløp, vil eksempelvis tømme seg raskere i modellen enn i realiteten og bør derfor modelleres ved at tilløpet til innsjøen rutes igjennom magasinet/innsjøen for å kunne ivareta utløpsforholdene på en bedre måte enn det PQRUT-modellen har mulighet til (Andersen mfl., 1983).
- Flomestimat er sensitive for endringer i effektiv sjøprosent.

Våte og tørre felt (P og q):

- De tørre feltene presterer dårligst, mens de våtere presterer bedre (Filipova mfl., 2016). Tilsvarende funn er gjort av Merz Blöschl (2005), som viser til at også regionalisering av flomfrekvensanalyser presterer bedre i våte enn i tørre nedbørfelt. Dette rimer godt med praktisk erfaring fra PQRUT om at flomestimat i felt med høy avrenning i større grad sammenfaller med de statistiske flomfrekvensanalysene.

1.6.3 Nødvendig inputdata for PQRUT

For beregning av tilløp/vannføring ut fra nedbør og snøsmelting i [PQRUT](#), må følgende punkter beregnes eller antas:

- Feltparametre
- Forløp (regn og ev. snøsmelting)
- Konsentrasjonstid
- Initialtilstand:
 - o startvannføring
 - o forhold i bakken; markfuktighet (som metningsgrad i prosent av feltkapasitet)

Feltparametre kan beregnes i [NEVINA](#). Ikke inkluderer magasinet's areal ved beregning av effektiv sjøprosent for feltet. Dette kan også gjelde for uregulerte innsjøer ol. Hvis tilløpsflommen skal rutes gjennom et magasin, er det viktig at man også beregner nedbør på magasin og legger dette til tilløpsflommen.

Forløp. For estimering og/eller bestilling av ekstremnedbør og arealreduksjonsfaktor, se kap. 3.2.1. For konstruksjon av form og varighet på forløpet, samt beregning av snøsmelting og hvordan kombinere nedbør og ev. snøsmelting til ett forløp, se kap.4.3.2.

Konsentrasjonstiden (T_c) for feltet må oppgis i hele tidsskritt (mer info i kap. 2.5.1 og 4.2.7.). I PQRUT skal følgende formel for konsentrasjonstid benyttes:

$$T_c [\text{s}] = \text{Feltlengde} [\text{m}] / \text{Vannhastighet} [\text{m/s}]$$

$$T_c [\text{time}] = T_c [\text{s}] / 3600 [\text{s/time}]$$

hvor vannet antas å ha en gjennomsnittshastighet på 1-2 m/s.

Initialtilstand. Ved beregning av dimensjonerende flom skal *startvannføringen* settes lik middelvannføringen i den aktuelle sesongen. Normalt skal flomsimuleringen gjøres med mettet felt, dvs. 100 % *markfuktighet*. Eventuelt markvannsunderskudd oppgis som metningsgrad i prosent av feltkapasitet. Feltkapasiteten er vanligvis satt til 150 mm.

For flommer, 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.

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.

1.7 Vedlegg: Den rasjonelle metode

Den rasjonelle metoden er basert på direkte sammenheng mellom nedbør og avrenning og gir et svært enkelt overslag av kulminasjonsvannføringen. Vedlegget oppsummerer nødvendige beregningssteg ved bruk av den rasjonelle metoden. For bruksområde og vurdering av usikkerhet se kap. 4.3.1.3.

Beskrivelsen av metoden er skrevet i tråd med Vegdirektorates Håndbok V240 Vannhåndtering (2020).

1.7.1 Formel for Q_T – den rasjonelle metode

Kulminasjonsvannføring med returperiode T , Q_T [l/s], er gitt ved:

$$Q_T = C_T \cdot i_T \cdot A$$

hvor C_T : avrenningsfaktor for flom med returperiode T [-]

i_T : dimensjonerende nedbørintensitet med returperiode T [l/s/ha]

A : feltareal [ha], (100 ha = 1 km²)

1.7.2 Avrenningsfaktoren (C)

Avrenningsfaktoren (C) er et uttrykk for den totale nedbørmengden i et nedbørfelt som renner bort som overflatevann, og er avhengig av arealbruk og andre feltegenskaper. Faktoren varierer fra 0,1 i områder med mye vegetasjon, skogdekke og/eller dyrket mark til opp mot 0,9 i urbane områder og områder hovedsakelig dekket av snaufjell.

C-verdien er som regel en vektet middelerverdi for hele feltet, men for sammensatte felt kan man beregne avrenningsfaktor for delfelt og beregne en midlet avrenningsfaktor, C_m , for hele feltet.

$$C_m = \frac{\sum(C_i \cdot A_i)}{A_F}$$

C_m = Midlere C-verdi for feltet [-]

C_i = C-verdi for delareal i [-]

A_i = Areal for delareal i [ha]

A_F = Totalt feltareal [ha]

C-verdien bør justeres i forhold til nedbørshendelsens varighet og gjentakintervallet det skal beregnes for. For nedbør med returperiode 10 år eller mer anbefales det å øke C-verdien med en korreksjonsfaktor, F_c , etter Tabell 12. Dette gir følgende uttrykk for dimensjonerende avrenningsfaktor for returperiode T ,

$$C_T = C_m \cdot F_c$$

C_T = Dimensjonerende avrenningsfaktor for returperiode T [-]

C_m = Midlere avrenningsfaktor for nedbørfeltet [-]

F_c = Korreksjonsfaktor for returperiode T [-]

Tabell 12. Anbefalt korreksjonsfaktor for forskjellige returperioder ved bruk av rasjonelle metode etter Berg mfl. (1992).

Returperiode T [år]	Korreksjonsfaktor F_c
< 10	1,00
10 – 25	1,10
25 – 50	1,20
50 – 100	1,25
100 – 200	1,30

Tabell 13 oppgir anbefalte C-verdier både for overordnede vurderinger av arealbruk og mer detaljerte vurderinger for overflater, bestemt ut fra helningen. Dersom det skal beregnes for impermeable flater som bart fjell, frossen og/eller islagt område, kan avrenningsfaktor tilsvarende «Svært tettbebygd industriområde» benyttes.

Tabell 13. Anbefalt C-faktor for forskjellige arealtyper og bratthetsgrader (Washington State Department of Transportation, 2017).

Overflate	Helning		
	< 2 %	2 – 10 %	> 10 %
Veg			
Asfaltert/brolagt vegoverflate (impermeabel)	0,90	0,90	0,90
Gruslagt vegoverflate (impermeabel)	0,85	0,85	0,85
Skulder - kompakterte løsmasser	0,50	0,50	0,50
Skulder - gress	0,25	0,25	0,25
Sidetereng/median – kompakterte løsmasser	0,60	0,60	0,60
Sidetereng/median – gress	0,30	0,30	0,30
Arealbruk - generell			
Lite tettbygd boligområde (< 750 boliger/km ²)	0,35	0,40	0,45
Moderat tettbygd boligområde (750 – 1500 boliger/km ²)	0,50	0,55	0,60
Svært tettbygd boligområde (> 1500 boliger/km ²)	0,70	0,75	0,80
Næringsområder i tettbygd strøk	0,80	0,85	0,85
Lite tettbygd industriområde	0,50	0,70	0,80
Svært tettbygd industriområde	0,60	0,80	0,90
Skogsområder	0,10	0,15	0,20
Åpne naturområder og dyrket mark	0,25	0,30	0,35
Arealbruk - detaljert			
Takoverflater (tett)	0,90	0,90	0,90
Gressplen og parkområder	0,17	0,22	0,35
Dyrket mark (leirig og siltig grunn)	0,50	0,55	0,60
Dyrket mark (sandig og grusig grunn)	0,25	0,30	0,35

1.7.3 Konsentrasjonstid (T_c)

Konsentrasjonstiden (T_c) er tiden det tar for vannet å renne fra nedslagsfeltets ytterste punkt til utløpet/målestedet og varierer avhengig av feltegenskapene.

Konsentrasjonstid for naturlige felt er gitt ved

$$T_c (\text{min}) = 0.6 \cdot L / H^{0.5} + 3000 \cdot A_{SE}$$

Konsentrasjonstid for urbane felt (utbygde felt), er gitt ved

$$T_c (\text{min}) = 0.02 \cdot L^{1.15} \cdot H^{-0.39}$$

hvor L: lengde av feltet [m] H: høydeforskjellen i feltet [m] A_{SE} : effektiv innsjøprosent [-]

Den rasjonelle metoden er i hovedsak utviklet for veldig små felt ($< 2 \text{ km}^2$) med tilnærmet ingen demping. Dette medfører at dersom feltet har høy effektiv sjøprosent kan konsentrasjonstiden, utregnet med formelen gitt over, bli urealistisk lang. Denne effekten kan bli merkbar allerede ved en effektiv sjøprosent rundt 1 % og øker med økende A_{SE} .

1.7.4 Nedbørintensitet, i

Dimensjonerende nedbørintensitet, i , må bestemmes for et gitt gjentaksintervall og med en varighet lik feltets konsentrasjonstid (T_c). Nedbørshendelsens intensitet bestemmes ut ifra en IVF- kurve som viser varighet og gjennomsnittlig regnintensitet for et gitt gjentaksintervall. For den rasjonelle metoden oppgis nedbørintensitet som [l/s ha]. Det skal benyttes kvalitetsgodkjente data fra Meteorologisk Institutt, disse kan hentes fra [Norsk Klimaservicesenter](https://klimaservicesenter.no).

Norsk Klimaservicesenter har utarbeidet en egen kartløsning hvor resultater fra ekstremverdianalyser på nedbør er tilgjengeliggjort. Kartløsningen finnes på <https://klimaservicesenter.no/ivf>.

Generell arbeidsgang for å finne IVF-verdier til bruk i dimensjonering er gjengitt i Vedlegg 1.6.

1.8 Vedlegg: Trinnvis arbeidsgang

Tabellen viser en trinnvis arbeidsgang ved utførelse av flomberegninger. Veiledningen er oppdelt i 10 trinn. Hvert trinn er beskrevet kortfattet med henvisninger til relevante kapitler i denne veilederen. Det er også henvisninger til aktuelle eksterne linker og verktøy.

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
1. Feltgrenser og feltegenskaper Beregn nedbørfeltet (A) til beregningspunktet(ene), f.eks. i NEVINA . I NEVINA beregnes også feltparametre, klimaparametere og flomindekser. Resultatene kan lastes ned både som shapefil og pdf-rapporter. Tips: Ta vare på shapefilen, denne kan bla. lastes opp i NVE Seriekart og NVE Temakart .	2.5.1 Feltparametre	NEVINA
2. Oversikt og forutsetninger Få oversikt og fremskaff nødvendig grunnlagsmateriale for å definere oppgaven. F.eks.: ✓ Skal det utføres flomberegninger for flere punkter? ✓ Er det spesielle beregningsforutsetninger som skal legges til grunn avhengig av formålet med flomberegningen? (damsikkerhet 02/2022, reguleringsplan og byggesak 03/2022) ✓ Hvilket gjentaksintervall på flommen gjelder ved dimensjonering? ✓ Er flommene påvirket av reguleringer/inngrep? Tips: I NVE Temakart finnes informasjon om vassdragsreguleringer, aktsomhetssoner, flomsonekart samt et begrenset utvalg av tidligere utførte beregninger.	2.2 Hva er et gjentaksintervall ? 2 Flomberegninger i Norge	NVE Temakart Veileder 02/2022 Veileder 03/2022

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
3. Datagrunnlag Velg ut aktuelle målestasjoner og dataserier. ✓ I NVE Seriekart kan man finne målestasjoner innen et egendefinert geografisk område og filtrere stasjoner ut fra feltegenskaper. Feltets selvreguleringssevne i kombinasjon med klimatiske forhold er viktige faktorer for å vurdere sammenlignbarhet og representativitet mellom ulike nedbørfelt.	3 Datagrunnlag 3.1.5 Vurdering av representativ målestasjon for umålte felt	NVE Seriekart NVEs Hydra II
4. Kontroll av hydrologiske data Utfør kvalitetskontroll (kvalitetsvurdering) av hydrologiske data som benyttes i flomberegningen. ✓ Hydrologisk avdeling i NVE utfører kvalitetskontroll av hydrologiske tidsserier. Tidsserier med døgnoppløsning får den mest omfattende kvalitetskontrollen mens tidsserier med finere tidsoppløsning får en mer begrenset kontroll. ✓ Hvis man utfører analyser på findata er derfor den egne kvalitetskontrollen og vurdering av datakvalitet ekstra viktig. ✓ Kvaliteten på vannføringskurven ved stor vannføring er avgjørende for resultatet og bør alltid kontrolleres og vurderes for aktuelle vannføringsstasjoner som inngår i analysen. Informasjon om kvalitet på vannføringskurver og tidsserier finner du bla. i NVE Seriekart eller i NVEs database Hydra II. Se også vedleggene 1.3, 1.4 og 1.5 om hhv. Hydra II, kontroll av hydrologiske data og isreduserte findata.	3.1.2 Kvalitetskontroll av hydrologiske data	NVE Seriekart NVEs Hydra II

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
5. Beregne flomstørrelser Metodene for beregning av flomstørrelser deles generelt inn i to hovedgrupper: ✓ Flomfrekvensanalyser (FFA) - o Lokale FFA - o Regionale FFA (formelverk) - o Kombinert FFA (lokal + regional) ✓ Nedbør-avløpsmetoder <i>Flomfrekvensanalyser</i> utføres på observerte flomdata, beregnede tilsigsserier eller konstruerte dataserier. ✓ Det er som regel nødvendig å bruke flere ulike tilnærminger og sammenligne resultater fra de ulike tilnærmingene (kap. 4.2.6), før endelig flomverdi kan velges (se trinn 6). ✓ Det må som regel konstrueres et flomforløp (kap. 4.2) ved behov for ruting (se trinn 7). <i>Nedbør-avløpsmetodene</i> bruker nedbør som inngangsdata. Nedbørverdiene, ev. i kombinasjon med snøsmelting, overføres til flomverdier ved hjelp av en hydrologisk modell eller empiriske formler. ✓ Fremskaff frekvensanalyse på nedbørdata (IVF-kurver) og konstruer nedbørforløp. ✓ Punktvis arbeidsgang ved bruk av nedbør-avløpsmodell fås i kap.4.3.3. Egen arbeidsgang for PQRUT se vedlegg 1.10. ✓ En nedbør-avløpsmodell bør alltid kalibreres og valideres.	4 Beregning av flomstørrelse 4.1 Valg av beregningsmetode 4.2 Flomfrekvensanalyser 4.3 Nedbør-avløpsmetoder 3.2 Meteorologiske data 1.9 Vedlegg: Arbeidsgang for ekstremnedbør i flomberegninger	PQRUT NVEs Hydra II

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
6. Evaluering og valg av dimensjonerende flomverdi Valg av flomverdi og evaluering av resultater: ✓ Resultatene fra ulike metoder skal sammenlignes, og valg av endelig størrelse på dimensjonerende (tilløps)flom må begrunnes ut fra en samlet faglig vurdering. ✓ Ved valg av endelig flomstørrelse er det igjen viktig å vurdere hvilke målestasjoner/felt som gir representative data for analysefeltet. Det er ikke sikkert at alle stasjoner som opprinnelig ble med i analysen viser seg å være representative / gode nok. ✓ Resultatene sammenlignes med erfaringstall, tidligere beregninger (i samme vassdrag eller nærliggende representative vassdrag) og observasjoner fra målestasjoner i området. Om det er store avvik i flomestimatene må dette forklares og begrunnes.	3.1.5 Vurdering av representativ målestasjon for umålte felt 7.3 Erfaringstall	NVE Temakart

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
7. Ruting - beregne avløpsflom og flomvannstand Ved behov for beregning av avløpsflom og tilhørende flomvannstand må tilløpsflommen rutes gjennom magasinet/magasinene (innsjøer/elvestrekninger/flomsletter). ✓ Hvis nedbør-avløpsmodell er brukt til å beregne flomstørrelse er det (som regel) allerede konstruert et nedbørforløp og modellen gir da et flomforløp. ✓ Hvis frekvensanalyse metoden er brukt til å beregne tilløpsflom har man bare den maksimale flomverdien og det må derfor konstrueres et flomforløp (kap. 4.2.7) som så skal rutes gjennom magasinet. ✓ Ved store felt og/eller sammensatte felt er det mange ulike hensyn som må vurderes, se kap. 0.	5 Ruting - beregning av avløpsflom og vannstand 4.2.7 Flomforløp 4.3.2 Forløp i nedbør-avløpsmodeller 6.1 Sammensatte nedbørfelt	PQRUT

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
8. Følsomhetsanalyser og vurdering av usikkerhet Det er viktig at man forstår opphavet til og vurderer usikkerheten i flomberegningen. ✓ Det er svært utfordrende å kvantifisere den totale usikkerheten, men de største bidragene til usikkerheten bør identifiseres og tallfestes, hvis mulig. ✓ NVE benytter en enkel klassifisering (klasse 1-5) som tar utgangspunkt i det hydrologiske datagrunnlaget og hvordan det brukes i analysen. Klassifiseringen brukes i <i>flomberegninger for damsikkerhet</i>, men anbefales også brukt i andre typer flomberegninger. (Kap. 7.1) ✓ NVE anbefaler at det utføres følsomhetsanalyser for inngangsdata og/eller modellparametre. (Kap. 7.4)	7 Evaluerings av resultater og vurdering av usikkerhet	

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
9. Klimapåslag NVE anbefaler klimapåslag på flomestimatet (0%, 20%, 40%) etter anbefalinger gitt i NVE Rapport 81/2016. Avhengig av flomberegningens formål gis det ulike anbefalinger og krav til klimapåslag (f.eks. Veileder 02/2022, Veileder 03/2022) ✓ Ved anbefalinger av klimapåslag skiller en mellom nedbør og flom. I flomberegninger skal klimapåslaget legges direkte på vannføringen. ✓ Ved ruting legges klimapåslaget på tilløpsflommen. ✓ Det anbefales samme klimapåslag på tvers av alle gjentaksintervall. ✓ I nedbørfelt som reagerer svært raskt på nedbør, og dermed er spesielt utsatt for økning i korttidsnedbør, anbefaler NVE at en benytter 40 % påslag i vannføring. På Klimaservicesenteret finner du fylkesvise klimaprofiler som gir et kortfattet sammendrag av dagens klima, ventede klimaendringer og klimautfordringer. Et nytt NVE temakart for anbefalte klimapåslag for flom på elvestrekning-/elvestrengnivå blir tilgjengelig ila. 2022.	8 Klimapåslag for flom	Klima-service-senteret NVE Rapport 81/2016

Trinn og beskrivelse	Kapittel	Verktøy/ linker
10. Dokumentasjon og godkjenning av flomberegninger Det er viktig at flomberegningen blir dokumentert på en god måte med faglige begrunnelser av de valg og vurderinger som tas underveis i analysen. ✓ NVE skal kontrollere og godkjenne alle flomberegninger som er knyttet til dimensjonering, ombygging og revurdering av dammer i konsekvensklasse 1, 2, 3 og 4. Slike flomberegninger skal dokumenteres i en rapport med nødvendige opplysninger for NVEs kontroll og godkjenning (02/2022). ✓ For alle flomfareutredninger anbefaler NVE at utredningene dokumenteres, slik at vurderingene og resultatene fra beregningene kan etterprøves. Dette er nærmere beskrevet i NVE veileder <i>Sikkerhet mot flom</i> (03/2022). ✓ NVE anbefaler at det alltid utføres en sidemannskontroll.	2.7 Anbefalt kompetanse	Veileder 02/2022 Veileder 03/2022

1.9 Vedlegg: Arbeidsgang for ekstremnedbør i flomberegninger

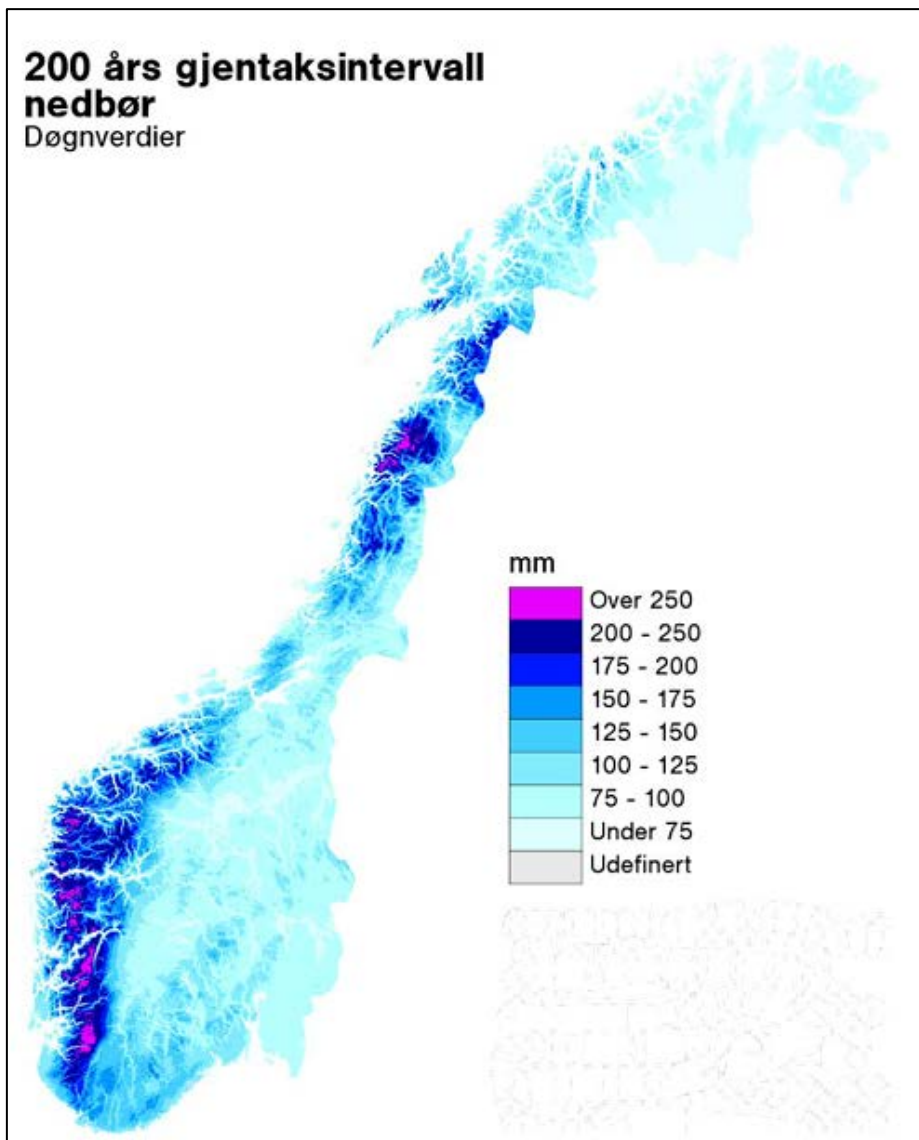
Arbeidsgangen som er beskrevet her ble utarbeidet i samarbeid mellom MET og NVE gjennom NIFS-prosjektet. Grunnlaget for anbefalingene er beskrevet i rapporten Dimensjonerende Korttidsnedbør (Førland mfl., 2015). Denne rapporten bør leses som grunnlag for å kunne følge arbeidsgangen beskrevet under. For spørsmål om meteorologiske data, dimensjonerende nedbørverdier, og andre spørsmål knyttet til meteorologiske produkter og innhold på Norsk Klimaservicesenter sine hjemmesider må Meteorologisk Institutt kontaktes direkte (klima@met.no).

For varigheter over 1 døgn og returperioder over 200 år må nedbørestimater bestilles fra Meteorologisk Institutt (klima@met.no) eller en annen meteorologisk institusjon som kan dokumentere en faglig god beregningsmetodikk.

Innledningsvis vil en analyse alltid starte med å få oversikt over hva som er tilgjengelig av observasjoner i området det skal utføres beregninger for. Det finnes flere kartløsninger med informasjon om det meteorologiske og hydrologiske stasjonsnett, men fortrinnsvis anbefales det å benytte [seKlima](#) og [NVE Seriekart](#). Ettersom datagrunnlaget på døgnnedbør er mye større enn det er for kortere varigheter, anbefales det at dette inngår i alle analyser, selv om varigheten en er interessert i er kortere (eksempelvis timesverdier).

Estimat av verdier for 1-døgn (24 timer)

Bruk Figur 15 for å gjøre et første estimat av dimensjonerende døgnerverdi. Sammenlign estimatet fra den regionale analysen presentert i Figur 15 opp mot resultater fra frekvensanalyser for nærliggende stasjoner, og bestem dimensjonerende døgnerverdi. Det er viktig å ta hensyn til målestasjonenes beliggenhet både geografisk og i terrenget (eksempelvis fjelltopp vs. dalbunn) i vurderingen av representative nedbørverdier. Bruk de høyeste observerte verdiene fra de respektive nærliggende målestasjoner til å vurdere rimeligheten av den dimensjonerende nedbørverdien som velges. Når endelig verdi er valgt, legg til 13% for å justere påregnelig verdi fra kalenderdøgn til vilkårlige 24-timer (Førland, 1992).



Figur 15. 1-døgns nedbør med 200-års returperiode. Datagrunnlag er METs manuelle vær- og nedbørstasjoner, og er basert på målinger i nedbørdøgnet kl 08-08. anbefalte en faktor på 1,13 for å justere påregnelige verdier fra 1 kalenderdøgn (hentet fra Førland mfl., 2015).

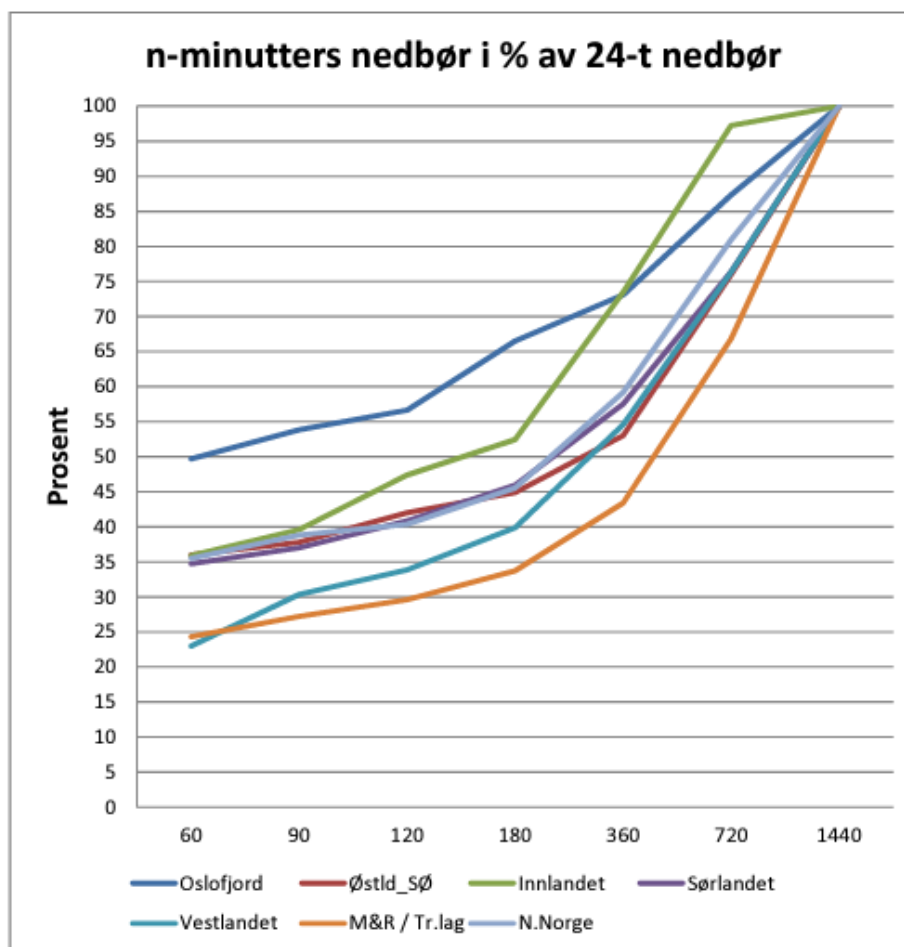
Estimat av verdier for kortere varigheter enn døgn

For varigheter kortere enn 1-døgn foreligger det i dag et mer begrenset datagrunnlag, og følgelig er estimater fra regionale analyser for varigheter kortere enn døgn beheftet med en større grad av usikkerhet enn hva som er tilfellet for 24-timersestimater. I tillegg til korte måleserier som øker usikkerheten i ekstremverdi-estimatet, vil den relativt lave stasjonstettheten ofte ikke fange opp de mest intense konvektive bygene.

For estimat av dimensjonerende nedbørverdier for korte varigheter er det helt nødvendig å nyttiggjøre seg av all tilgjengelig informasjon. Undersøk alltid om det finnes nærliggende pluviometerstasjoner i området ([Norsk Klimaservicesenter - IVF](#)). Dersom det finnes IVF-statistikk fra nærliggende pluviometerstasjoner, anbefales det å benytte disse estimatene som utgangspunkt. Sjekk om estimatene virker representative ut fra IVF-verdiene for andre stasjoner i regionen. Sjekk om det fra området foreligger observasjoner som tyder på at IVF-statistikken ikke gir

representative estimat (det er flere stasjoner som måler korttidsnedbør, men som ikke ligger ute med IVF-statistikk på Klimaservicesenteret grunnet for korte observasjonsperioder).

For områder der det ikke finnes nærliggende stasjoner med IVF-statistikk, anbefales det å bruke Figur 16 og Tabell 14 for å utarbeide et grovestimat av nedbør for varigheter < 24-timer. Figur 16 og Tabell 14 viser medianverdien for n-minutters nedbør i % av 24-timers nedbør for forskjellige regioner i Norge. Sammenlign denne verdien med IVF- kurver fra andre stasjoner i den aktuelle regionen, og bestem dimensjonerende verdi. Sjekk om det fra området foreligger observasjoner som tyder på at dette estimatet ikke er representativt.



Figur 16. Nedbør i løpet av 1 time – 1 døgn (medianverdi for regionen) i prosent av nedbør i løpet av 1 døgn (1440 minutter) hentet fra Førland mfl. (2015).

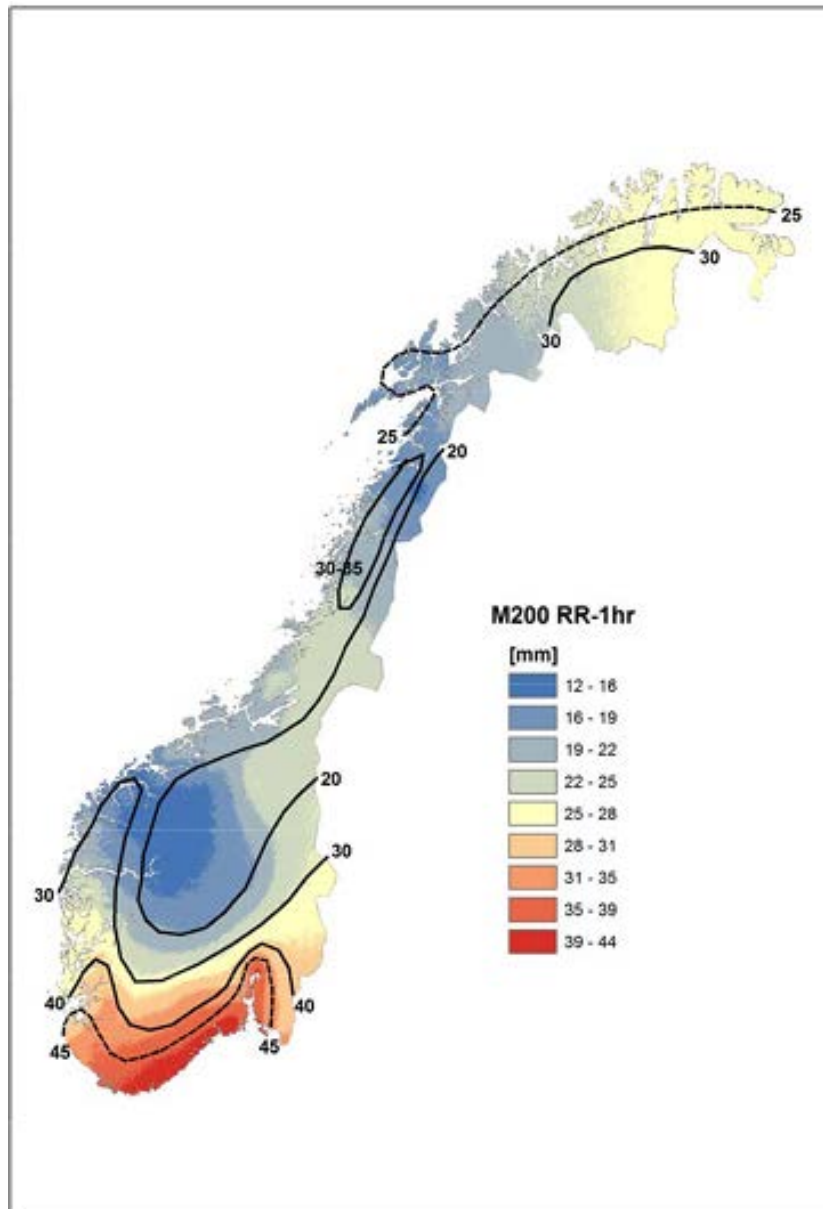
Tabell 14. Nedbør i løpet av 1 time - døgn (medianverdi for regionen) i prosent av nedbør i løpet av 1 døgn (1440 minutter) hentet fra Førland mfl. (2015).

Varighet (min)	Prosent av 24t-verdi						
	Oslofjord	Østld_SØ	Innlandet	Sørlandet	Vestlandet	M&R / Tr.lag	N.Norge
60	50	36	36	35	23	24	35
90	54	38	40	37	30	27	39
120	57	42	47	41	34	30	40
180	67	45	52	46	40	34	46
360	73	53	73	58	55	43	59
720	87	76	97	76	76	67	81
1440	100	100	100	100	100	100	100

Figur 17 viser resultater fra regresjonsanalysene for 200-års estimater for 1 times varighet fra Førland mfl. (2015). Estimatenes presentert i Figur 17 forventes naturlig nok å gi bedre estimater i område med høy stasjonstetthet (eksempelvis Sørøstlandet) enn i områder med lite data (eksempelvis Nord-Norge).

Dersom dimensjonerende timesverdi bestemt etter tilnærmingen beskrevet over avviker betydelig fra isolinje-verdien på kartet i Figur 17, er estimatet muligens for høyt eller lavt.

I områder med veldig høye døgnverdier, eksempelvis deler av Vestlandet og kysten av Nordland, vil bruk av Figur 15 og Figur 16 kunne sammen gi svært høye timesverdier. I slike situasjoner anbefales det å anvende verdien fra isolinjene i Figur 17 - eventuelt å ta kontakt med Meteorologisk Institutt for ytterligere veiledning. Det kan også være nyttig å sjekke kapittel 3 i Dimensjonerende korttidsnedbør (Førland mfl., 2015) som gir en oversikt over de høyeste målte verdier i Norge for varigheter fra 1 minutt til 30 døgn. Det er også viktig å se på nedbørdata i [seKlima](#) for å få med alle observasjonene etter 2015.



Figur 17. Tentative øvre estimat for 1-times nedbør med 200-års returperiode (hentet fra Førland mfl., 2015).

Kommentarer: Isolinjene er en subjektiv modifisering av den geografiske fordeling som er vist i figur 4.7 i Førland mfl., 2015 og som er gjengitt her som bakgrunnskart. Det er spesielt forsøkt å ta hensyn til nedbørforhold i områder med dårlig stasjonsdekning. Isolinjene bygger bl.a. på resultat fra re-analyser (Mamen mfl., 2011). For mer informasjon om Figur 17 henvises leseren til originalrapporten.

Konvertering fra punkt- til arealnedbør – arealreduksjonsfaktor (ARF)

Beregnet nedbør er vanligvis en representativ punktverdi for nedbørfeltet. Det betyr at det i en nedbørsituasjon vil falle mer nedbør enn punktverdien i deler av feltet og mindre i andre deler. Punktverdien må derfor omregnes til arealverdi, dvs. justeres for «samtidighet», ved hjelp av de arealreduksjonsfaktorer (ARF) 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. Tabell 15 viser anbefalte arealreduksjonsfaktorer for ulike feltstørrelser (km²) og varigheter (t). Faktorene er basert på Fig.1 i [Beregning av ekstremnedbør \(Førland, 1987\)](#).

Tabell 15. Anbefalte arealreduksjonsfaktorer for ulike feltstørrelser (km²) og varigheter (t). Faktorene er basert på Fig.1 i [Beregning av ekstremnedbør \(Førland, 1987\)](#).

Areal \ Varighet (km ²) \ (t)	10 min	0,5 t	1	2	6	12	24	48	72	96	120	144	168	192
0,5	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,89	0,92	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7,5	0,85	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,83	0,87	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
15	0,81	0,85	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
20	0,79	0,84	0,88	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00
25	0,77	0,83	0,86	0,90	0,93	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
30	0,75	0,81	0,85	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
40	0,72	0,79	0,84	0,88	0,92	0,94	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
50	0,69	0,78	0,83	0,87	0,91	0,94	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
75	0,65	0,74	0,81	0,86	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
100	0,62	0,71	0,79	0,84	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98
150	0,57	0,69	0,77	0,83	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
200	0,54	0,66	0,75	0,81	0,87	0,90	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98
250	0,51	0,64	0,73	0,80	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
300	0,48	0,62	0,72	0,79	0,86	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97
400	0,45	0,60	0,70	0,78	0,85	0,89	0,91	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97
500	0,42	0,57	0,67	0,76	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96
750	0,37	0,53	0,64	0,74	0,83	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96
1000	0,34	0,50	0,62	0,72	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95
2500	0,27	0,43	0,56	0,66	0,79	0,84	0,87	0,89	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93
5000	0,22	0,36	0,49	0,60	0,75	0,82	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,91	0,91	0,92
10000	0,15	0,31	0,44	0,55	0,72	0,80	0,83	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,89	0,90

1.10 Vedlegg: Arbeidsgang for beregning av tilløpsflom i PQRUT

Nødvendige parametre for PQRUT kan beregnes i [NEVINA](#). Tilløpsflom kan simuleres i verktøyet [PQRUT](#).

1. **Bruksområde:** Vurder om ditt felt bør modelleres med PQRUT. Informasjon om bruksområde, se kap. 4.3.1. og identifiser ev. utfordringer.

2. Modelloppsett:

- a. **Feltparametre:** Beregn nødvendige feltparametre i NEVINA.
 - i. **Effektiv sjøprosent, A_{SE} .** Ikke inkluder magasinets areal ved beregning av effektiv sjøprosent for feltet. Dette kan også gjelde for uregulerte innsjøer ol.
 - ii. **Areal.** Ikke inkluder magasinets areal ved beregning av effektiv sjøprosent for feltet. Dette kan også gjelde for uregulerte innsjøer ol. Hvis tilløpsflommen skal rutes gjennom et magasin, er det viktig at man også beregner nedbør på magasin og legger dette til tilløpsflommen.
 - iii. **Nedbør på magasin,** hvis magasinet er stort i forhold til nedbørfeltet skal nedbøren legges direkte på magasinet.

- b. **Modellparametre:** Beregn eller kalibrer nødvendige modellparametre (K_1 , K_2 og T):

Målte felt: Bruk observerte data for nedbør og vannføring for å kalibrere K_1 , K_2 og T .

Umålte felt:

- i. Estimer K_1 , K_2 og T via 2016-ligningene. 1983-ligningen kan benyttes om det er grunn til å tro at disse viser rimeligere verdier. Begrunn valget.
- ii. Det anbefales ikke å korrigere feltparametre ut fra andel myr og snaufjell ved bruk av 2016-ligningene.
- iii. Sammenlign verdier for modellparametrene med ev. representative felt og deres kalibrerte modellparametre, se Vedlegg 1 i [Leine & Lawrence \(2021\)](#).

c. Konstruer forløp

- i. Bestilling og beregning av ekstremnedbør, se hhv. kap.3.2.1 3.2.1 og Vedlegg 1.9.
- ii. Beregn ev. snøsmelting, se kap. 4.3.2.2 Snø og snøsmelting.
- iii. Konstruer forløp, se veiledning kap. 4.3.2.

- d. Sett initialtilstand i bakken (markvannskudd). Normalt settes denne til 100 %, men denne kan settes noe lavere i store felt og for enkelte geografiske områder basert på praktisk erfaring, se Nødvendig inputdata for PQRUT Vedlegg 1.6 .Vurder om kombinasjon markvannskudd, nedbør og snøsmelting er rimelig.
- e. Sett startvannføring. Denne settes normalt lik middelavrenningen i aktuell sesong.
- f. Beregne konsentrasjonstid (T_c). T_c for feltet må oppgis i hele tidsskritt. For PQRUT skal formel i Vedlegg 1.6 avsnitt 1.6.3 benyttes.

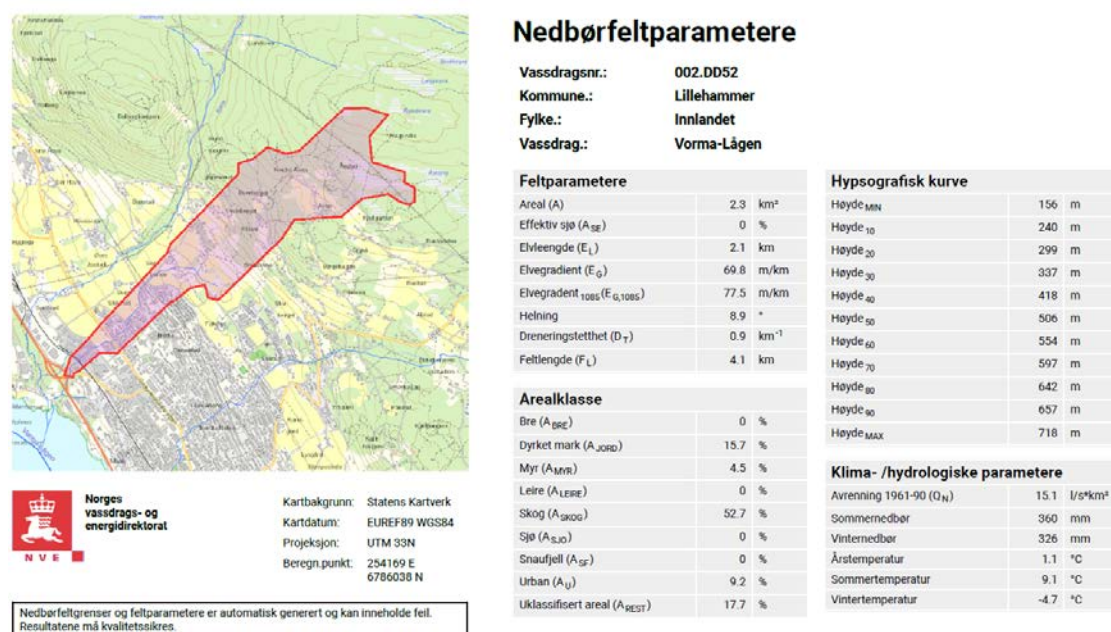
3. **Vurdere flomestimat, Q_T :**

- a. Sammenlign kulminasjonsverdi mot observasjoner i vassdraget hvis dette finnes. Tilsigsdata kan også benyttes.
- b. Sammenlign kulminasjon og døgnverdi i spesifikke verdier med spesifikke flomverdier fra andre statistiske metoder og erfaringstall for flomstørrelser.
- c. Estimat av PMF bør sammenlignes med Q_{1000} beregnet med statistiske metoder for å vurdere om størrelsen til PMF er rimelig. Normalt så skal PMF være mellom 1,5- 3 ganger Q_{1000} . Mer info om PMF, se kap. 4.4.

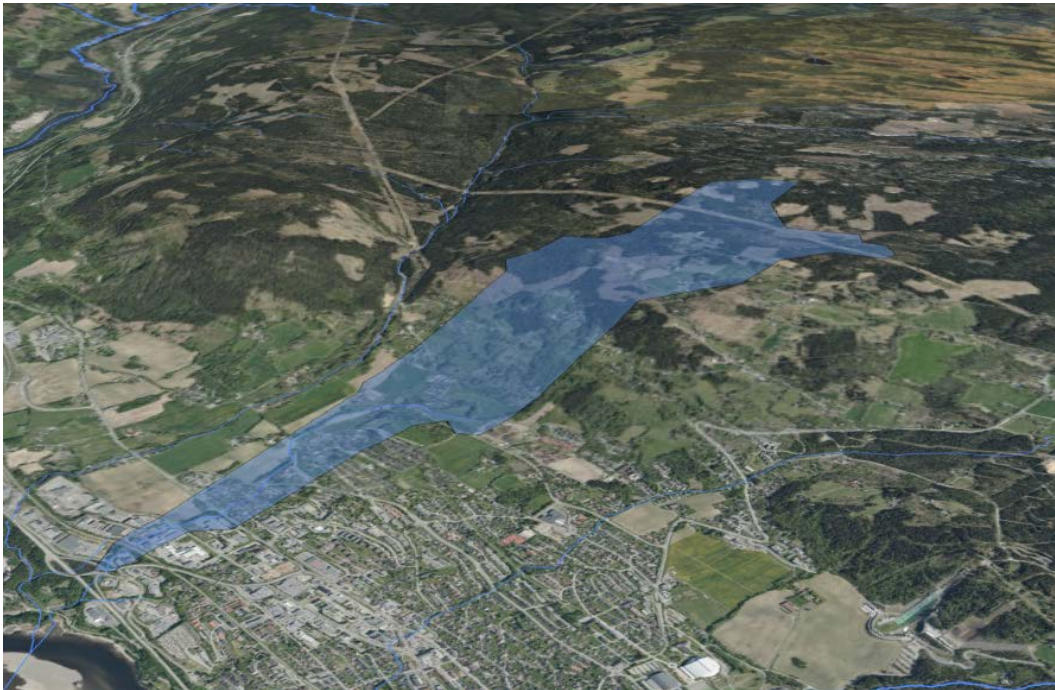
1.11 Vedlegg: Regneeksempel: Små nedbørfelt – Lundebecken

I dette regneeksemplet illustreres beregning av en 200-årsflom for et lite uregulert nedbørfelt basert på arbeidsgangen beskrevet i Vedlegg 1.8.

Lundebecken er et lite umålt nedbørfelt i Lillehammer kommune som har utløp i Gudbrandsdalslågen. Lundebecken har et nedbørfelt på 2.3 km² ved valgt beregningspunkt. Ved å anvende kartapplikasjonen [NEVINA](#) hentes feltkarakteristika for nedbørfeltet som skal analyseres, og resultatet er vist i Figur 18. Rapporten gir at nedbørfeltet har en midlere årsnedbør på rundt 680 mm, i stor grad er dominert av skog i de øvre deler av feltet og har tilnærmet lik null andel innsjø (forholdsvis lav dempningsgrad). Figur 19 viser et flyfoto og 3-D representasjon over området som samsvarer godt med GIS-analysen.



Figur 18. Rapport fra kartapplikasjonen [NEVINA](#) med opplysninger om feltparametere



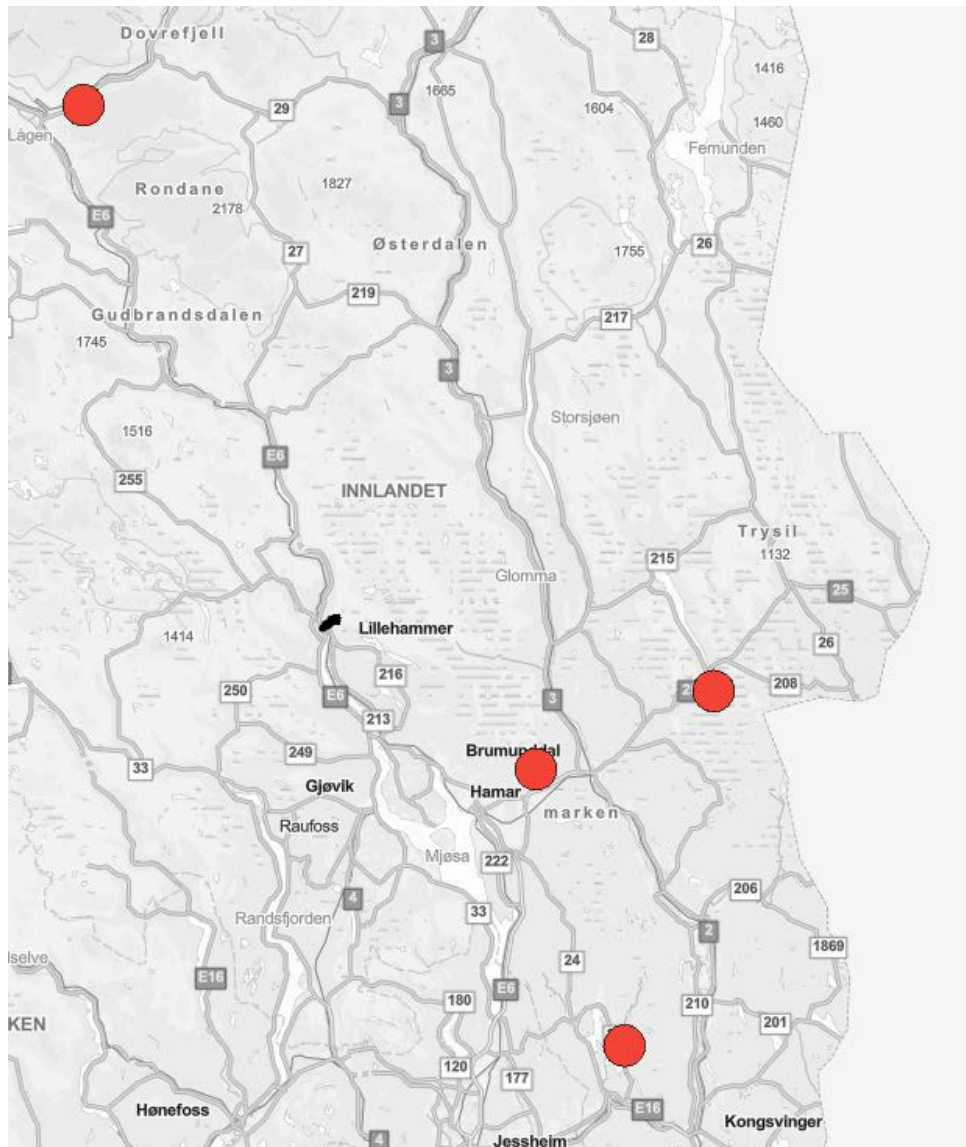
Figur 19. Flyfoto og 3-D representasjon av nedbørfeltet til Lundebekken i [NVE Temakart](#)

Etter å ha fått oversikt over nedbørfeltet kan selve flomberegningen begynne. Hvilke beregningsmetoder (kapittel 0) som anvendes i en flomberegning vil være avhengig av hva som er tilgjengelig av data i området. På Nord-Østlandet finnes det svært lite data i små nedbørfelt. Tabell 16 og Figur 20 viser de hydrologiske målestasjonene i små felt med forholdsvis gode data i området sammen med nedbørfeltet til Lundebekken funnet gjennom bruk av [NVE Seriekart](#). Tabell 16 illustrerer godt mangelen på data i små felt på Nord-Østlandet. De fire stasjonene som er valgt ut her har alle vesentlig større nedbørfelt (10-20 ganger) enn nedbørfeltet til Lundebekken og kan ikke forventes å gi representative flomverdier for Lundebekken. I tilfeller som dette, med svært begrenset datagrunnlag, er det nyttig å prøve ut flere tilnærminger i utarbeidelsen av et flomestimat.

Tabell 16. Hydrologiske målestasjoner med utvalgte feltegenskaper i området rundt Lundebekken

St. nr	St. navn	Areal (km ²)	Q _N (l/s/km ²)	A _{se} (%)	Skog (%)	Snaufjell (%)	Medianhøyde (moh)
	Lundebekken	2,3	15	0	53	0	506
2.323	Fura	36,4	26*	0	80	0	581
2.616	Kuggerud	48,3	16*	1.14	85	0	375
2.1	Hådammen	37,9	22*	0.81	70	0	566
2.592	Fokstua	26,5	23*	0	0	98	1439

*Normalavrenningen er beregnet ut ifra observasjoner



Figur 20. Utklipp fra [NVE Seriekart](#) som viser utvalg av målestasjoner i området rundt Lundebecken (sort polygon i midten av kartet)

Selv om målestasjonene fra Figur 20 ikke forventes å være representative for Lundebecken, er det nyttig å se på de observerte flomverdiene i området. Det gir et inntrykk av variasjon og størrelsesorden, selv om Lundebecken forventes å ha en større spesifikk kulminasjonsflom enn alle disse feltene. Resultatene fra flomfrekvensanalyser utført på tidsseriene er oppsummert i Tabell 17.

Ekstremver dianalysene viser at det er store forskjeller i spesifikke flomstørrelser for de fire nedbørfeltene. Spesifikk 200-årsflom varierer fra 378 l/s/km² for 2.616 Kuggerud til 1574 l/s/km² for 2.323 Fura. Kuggerud har det største nedbørfeltet, høyest effektiv sjøprosent og lavest normalavrenning, mens Fura har nestminst feltareal, lavest effektiv sjøprosent og høyest normalavrenning av de fire nedbørfeltene. Fura er også den stasjonen som ligger nærmest, i avstand, fra Lundebecken.

Tabell 17. Resultater fra flomfrekvensanalyser fra stasjoner i området rundt Lillehammer

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	Areal (km ²)	QM (l/s/km ²)	Q200 (l/s/km ²)
2.323	Fura	36,4	616	1574
2.616	Kuggerud	48,3	135	378
2.1	Hådammen	37,9	293	671
2.592	Fokstua	26,5	391	962

NIFS-formelverk (RFFA-NIFS)

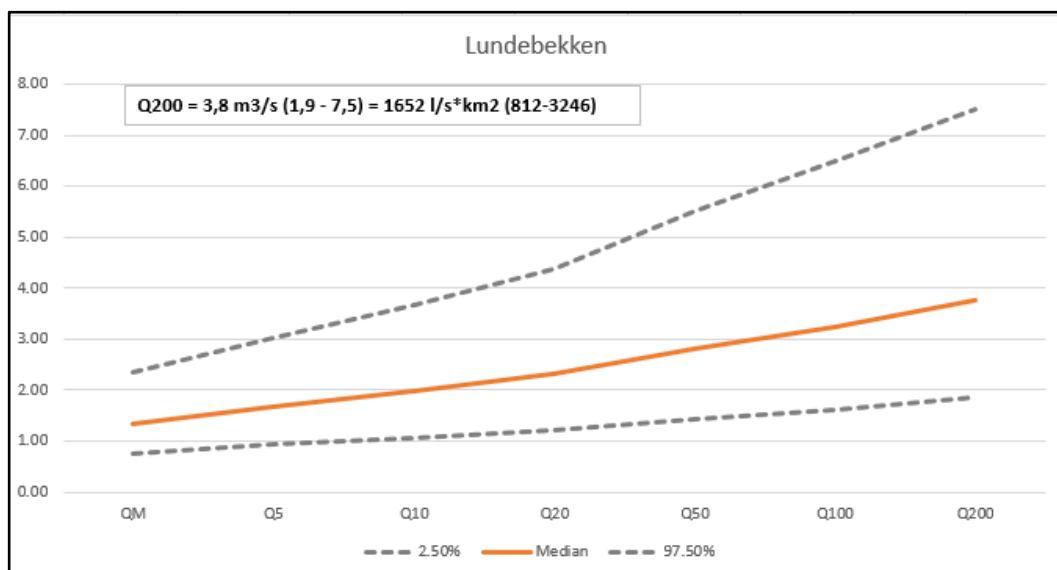
For å anvende NIFS-formelverk er det nødvendig å ha tilgjengelig informasjon om nedbørfeltets areal, normalavrenning og effektiv sjøprosent. Alle disse tre størrelsene fås direkte ved å kjøre kartapplikasjonen [NEVINA](#). Areal og effektiv sjøprosent beregnes ut fra GIS-analyser, mens normalavrenningen hentes fra avrenningskartet (se forklaring i kapittel 0). Av de tre størrelsene er det normalavrenningen det er knyttet størst usikkerhet til. Det anbefales alltid å gjøre en vurdering av normalavrenningen når formelverket benyttes. Dette kan gjøres ved å sammenligne normalavrenningen fra avrenningskartet med normalavrenningen beregnet fra observasjoner i nærområdet. Figur 20 viser at det kun er et fåtall målestasjoner i området rundt nedbørfeltet til Lundebecken. I Tabell 18 sammenlignes normalavrenningen fra avrenningskartet og fra observasjoner for målestasjonene. Tabell 18 viser at avrenningskartet konsekvent gir noe lavere verdier sammenlignet med observasjonene for de utvalgte stasjonene. For Fura er normalavrenning vesentlig lavere i avrenningskartet enn det som beregnes fra observasjoner. Fra avrenningskartet er normalavrenningen for Lundebecken 15 l/s/km². Det kan virke som om avrenningskartet konsekvent gir noe lave verdier i området. Basert på dette justeres normalavrenningen for Lundebecken opp til 20 l/s/km².

Tabell 18. Vurdering av normalavrenningen for målestasjoner i området rundt Lillehammer

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	Q _N avrenningskart (l/s/km ²)	Q _N Observasjoner (l/s/km ²)
2.323	Fura	12	26
2.616	Kuggerud	13	16
2.1	Hådammen	20	22
2.592	Fokstua	18	23

Når normalavrenningen er bestemt legges feltparameterne inn i formelverkene RFFA-2018 og RFFA-NIFS. Figur 21 viser resultatet fra RFFA-NIFS som anbefales brukt for små

nedbørfelt opp til og med gjentakintervall på 200 år. 200-årsflommen estimeres til å være 3,8 m³/s som tilsvarer en spesifikk verdi på 1652 l/s/km².



Figur 21. Viser første estimat av 200-årsflommen for Lundebecken. Verdiene som står i parentes viser usikkerhetsintervallet (2,5 og 97,5-persentilen).

PQRUT

For å utføre beregninger med nedbør-avløpsmodellen [PQRUT](#) skal modellen først kalibreres. Ettersom det ikke foreligger noen observasjoner å kalibrere mot estimeres modellparameterne K1, K2 og T ved hjelp av ligningene presentert i kap. 1.6.2.2. I tillegg må det bestemmes en dimensjonerende nedbørverdi og en konsentrasjonstid. For Lundebecken er modellparameterne estimert til

$$K1 = 0,240 \quad K2 = 0,065 \quad T = 25,6 \text{ mm}$$

For å bruke PQRUT må en bestemme konsentrasjonstiden, T_c , og en pragmatisk måte å estimere dette på er å anta en vannhastighet på 1-2 m/s og dele på feltlengden. I dette tilfellet ble det brukt en hastighet på 1,5 m/s hvilket gir følgende estimat av konsentrasjonstiden

$$T_c = 4100 \text{ m} / 1,5 \text{ m/s} = 2733 \text{ s} = 46 \text{ min} \Rightarrow 1 \text{ time}$$

Når en bruker PQRUT er det viktig å huske på at modellen har timesoppløsning som fineste tidsskritt. I veldig små nedbørfelt som Lundebecken, som ligger helt i grenseland for anbefalt areal, kan kulminasjonsverdi være vesentlig større enn timesgjennomsnittet. Følgelig vil modellresultatet være noe lavt selv om en antar at simulert timesverdi er korrekt.

For å bestemme dimensjonerende nedbør følges anbefalingene fra Vedlegg 1.6. For å få et første estimat av dimensjonerende døgnnedbør anvendes Figur 15. Kartet gir at verdien bør ligge i størrelsesorden 75-125 mm. Kartutsnittet (Figur 22) fra [NVE Seriekart](#) viser at det ligger 4 nedbørstasjoner i området rundt Lundebecken. Frekvensanalyser fra disse stasjonene gir 200-års døgnverdier på mellom ca. 85-110 mm (Tabell 19). De høyeste observerte døgnverdiene fra disse tre stasjonene er 62 mm

(Lillehammer - Sætherengen), 80 mm (Vea), 82 mm (Biri), og 78 mm (Sjusjøen – Storåsen). På bakgrunn av frekvensanalysen for Lillehammer - Sætherengen og de regionale analysene settes dimensjonerende døgngnedbør til 90 mm.



Figur 22. Viser nedbørstasjoner i nærheten av Lillehammer funnet ved bruk av [NVE Seriekart](#).

Tabell 19. Resultater fra frekvensanalyser på døgndata for 4 nedbørstasjoner i området rundt Lundebecken (P200-døgn multipliseres med faktor 1,13 for å regne om fra kalenderdøgn til vilkårlige 24-timers verdi)

Stasjonsnr	Stasjonsnavn	Periode	P200-døgn (mm)	P200-24 timer (mm)	Fordeling	Høyeste obs (mm)
12680	Lillehammer-Sætherengen	1983-2020	79	89	Gumbel	62
11900	Biri	1896-2020	95	107	GEV	82
12600	Vea	1967-2020	77	87	GEV	80
12960	Sjusjøen-Storåsen	1978-2004	87	98	Gumbel	78

For å bestemme dimensjonerende verdier for timesnedbør anvendes Figur 17 for å få et førsteinntrykk. I dette kartet ligger Lillehammer i en sone hvor 200-års timesnedbør forventes å ligge mellom 20-35 mm. Rett sør for Lundebecken er det utarbeidet IVF-statistikk for Lillehammer som er tilgjengelig hos Norsk Klimaservicesenter. IVF-kurven for 200-års gjentaksintervall for denne stasjonen er oppsummert i Tabell 20.

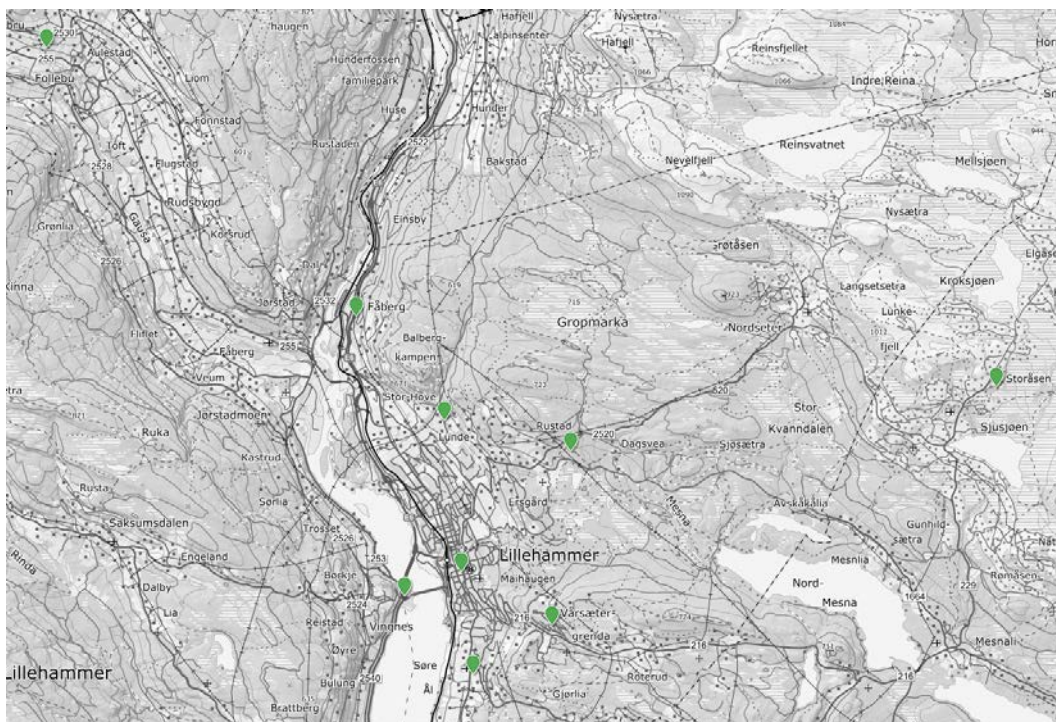
Tabell 20. IVF-statistikk for Lillehammer hentet fra Norsk Klimaservicesenter

Område	Periode	P200 - 1 time	P200 - 3 timer	P200 - 6 timer	P200 - 12 timer	P200 - 24 timer
Lillehammer	1969-1991	19.4	27.6	42.3	42.8	57.9

IVF-statistikk på korttidsnedbør er beheftet med stor grad av usikkerhet grunnet både korte tidsserier og lav stasjonstetthet. Det er derfor alltid nødvendig å gjøre en vurdering av nedbørestimatene ved å inkludere tilgjengelig informasjon fra området. Som supplement til regresjonsanalysene presentert i Figur 17 og eventuelle nærliggende nedbørstasjoner med tilgjengelig IVF-statistikk kan Figur 16 brukes i kombinasjon med estimert 24-timersverdi. For Innlandsregionen ligger timesverdien i størrelsesorden 36 % av døgnaverdien. Dette gir en timesverdi på 32 mm (36% av 90 mm/24 t). IVF-statistikken for Lillehammer fra Norsk Klimaservicesenter gir et vesentlig lavere estimat på 24-timers verdi (57.9 mm) enn analysen utført på flere

stasjoner i området (90 mm). For å undersøke rimeligheten av 1-times estimatet må en sjekke hva som er tilgjengelig av observert kortidsnedbør i området.

Det finnes ikke stasjoner med lange tidsserier med timesoppløsning i området, men det finnes flere stasjoner som har observasjoner de siste årene. Figur 23 viser utklipp fra [seKlima](#) med oversikt over målestasjoner med timesoppløsning i området rundt Lillehammer.



Figur 23. Oversikt over nedbørstasjoner med timesdata i området rundt Lillehammer funnet på [seKlima](#)

For å vurdere rimeligheten av estimatet presentert i Tabell 20 undersøkes hva som er observert av nedbørintensiteter ved disse stasjonene. Gjennomgangen av nedbørstasjonene i området er oppsummert i Tabell 21 og viser at det ved tre hendelser siden 2017 er registrert timesnedbør på over 15 mm. Under nedbørepisoden 1.september 2019 ble det registrert høye timesverdier for fire av de seks stasjonene rundt Lillehammer hvor en av de (Lillehammer-Vårsætergrenda) registrerte en verdi som er marginalt høyere enn 200-årsestimatet fra Tabell 20.

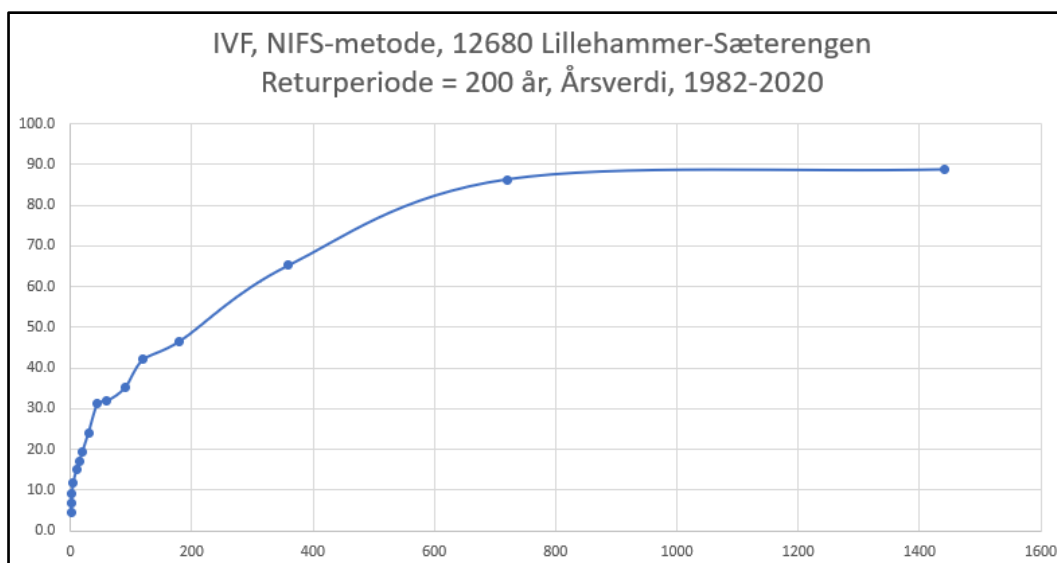
Tabell 21. Stasjoner med kortidsnedbør i området rundt Lillehammer med høyeste observerte timesnedbør.

Målestasjon	Periode	Maks obs. timesnedbør (mm)	Dato
Fåberg	Okt 2018 - Nov 2021	16.7	14.06.2021
Lillehammer-Bjørnerud	Jun 2017 - Nov 2021	15.4	16.08.2018
Lillehammer-Nordsetervegen	Jun 2017 - Nov 2021	17.9	01.09.2019
Lillehammer-Rådhuset	Mai 2018 - Nov 2021	13.3	01.09.2019
Lillehammer-Vårsætergrenda	Jun 2017 - Nov 2021	19.9	01.09.2019
Lillehammer-Sætherengen	Jun 2019 - Nov 2021	16.5	01.09.2019

Gjennomgangen og vurderingen av nedbørforholdene rundt Lillehammer gir flere grunner til å stille spørsmål ved IVF-statistikken presentert i Tabell 20. Timesestimatet ligger lavere enn verdiene fra den regionale analysen vist i Figur 17. Døgnverdiene presentert i Tabell 20 ligger vesentlig lavere enn estimer fra flere målestasjoner i

området (Tabell 19). IVF-statistikken er beregnet på bakgrunn av forholdsvis gamle data, 1969-1991, og en kort tidsserie. I tillegg viser observasjoner fra området rundt Lillehammer at det er observert høye timesverdier ved flere anledninger de seneste årene (Tabell 21). På bakgrunn av dette anses IVF-kurven fra Tabell 20 å gi et for lavt estimat for Lillehammer og Lundebecken¹². I stedet benyttes tilnærmingen som bruker 24-timers estimat i kombinasjon med Figur 16. Resultatet fra analysen gir IVF-kurven for 200-års gjentaksintervall vist i Figur 24.

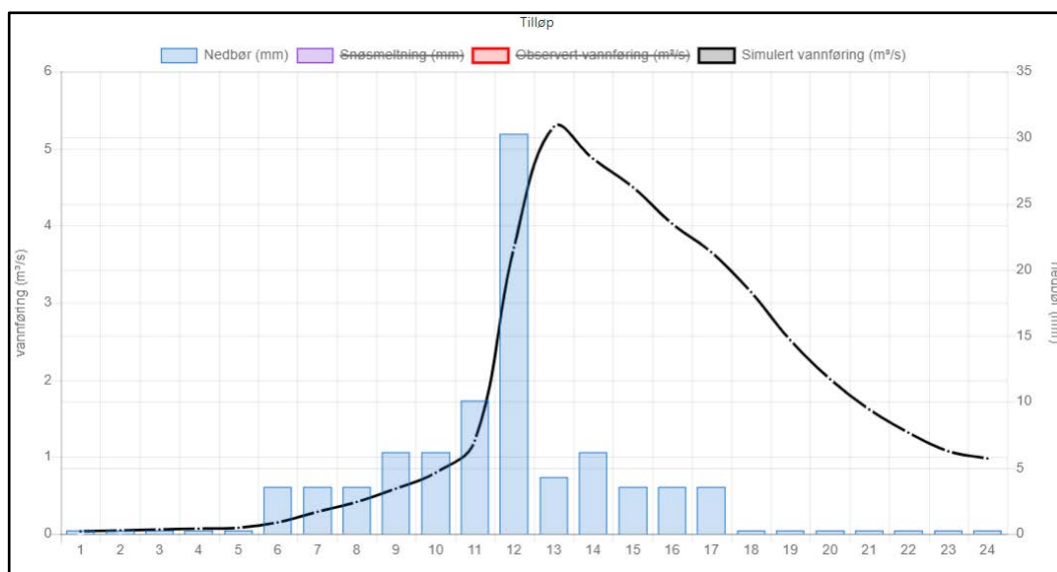
Beregnet nedbør er en representativ punktverdi for nedbørfeltet. Det betyr at det i en nedbørsituasjon vil falle mer nedbør enn punktverdien i deler av feltet og mindre i andre deler. Punktverdien må derfor omregnes til arealverdi, dvs. justeres for «samtidighet», ved hjelp av såkalte arealreduksjonsfaktorer (ARF). Dette gjøres etter anbefalingene gitt i Vedlegg 1.6 og Tabell 15.



Figur 24. IVF-kurve for Lundebecken basert på analyse av døgnnedbør og nedbør i % av døgn (Figur 16). Y-aksen viser mm nedbør og x-aksen viser varighet i minutter.

Resulterende IVF-kurve for Lundebecken benyttes så for å konstruere nedbørforløpet. Feltparametere og nedbørforløp ble lagt inn i modellen og resultatet fra kjøringen er vist i Figur 25. Kjøringen ga en flom med 200-års gjentaksintervall på 5,3 m³/s som tilsvarer 2304 l/s/km². Igjen må en huske på at kulminasjonsverdien for veldig små nedbørfelt som Lundebecken, kan være vesentlig større enn timesgjennomsnittet. Følgelig vil modellresultatet være noe lavt selv om en antar at simulert timesverdi er korrekt.

¹² På oppdrag fra Lillehammer kommune har Norconsult AS utarbeidet [nye IVF-kurver](#) Lillehammer. Lillehammer kommune anmoder konsulentfirmaer om å ta i bruk de nye kurvene. I temaplan for [overvann til Lillehammer kommune](#) skriver kommunen bla. «IVF-kurven for nedbørstasjonen Lillehammer vurderes som ikke representativ for korttidsnedbør i Lillehammer da den gir for lave verdier i forhold til virkelige verdier.» Kommunens konklusjon stemmer med konklusjonen i dette regneeksempelet.



Figur 25. Viser estimat av 200-års flom ved bruk av PQRUT med modellparametre estimert fra Filipova mfl. (2016).

Sammenligning av resultater og anbefalt verdi

Denne flomberegningen har måttet belage seg på et svært begrenset datagrunnlag. I mangel av gode representative vannføringsstasjoner i området ble flomstørrelser beregnet ved bruk av formelverk og PQRUT. Resultatene er sprikende og som følger:

NIFS-formelverk: $Q_{200} = 1,9 - 3,8 - 7,5 \text{ m}^3/\text{s} = 812 - \mathbf{1652} - 3246 \text{ l/s/km}^2$

RFFA 2018: $Q_{200} = 1,3 - 2,4 - 4,8 \text{ m}^3/\text{s} = 565 - \mathbf{1046} - 2087 \text{ l/s/km}^2$

PQRUT: $Q_{200} = 5,3 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{2304} \text{ l/s/km}^2$

Når det utføres flomberegninger for nedbørfelt i områder hvor det er så begrenset datagrunnlag som det som er tilfellet for Lundebekken, kan det være utfordrende å bestemme dimensjonerende flomverdi. Lundebekken ligger i et område hvor avrenningskartet er usikkert og grunnet datamangel (representative stasjoner) kan det ikke forventes å gjøre et godt estimat av middelflommen gjennom erfaringstall og formelverk. Metodene som er brukt i dette regneeksempelet gjelder for naturlige felt og nedbørfeltet til Lundebekken er urbanisert i nedre deler. Følgelig er ikke Lundebekken et felt som veilederen direkte omfatter. Det betyr imidlertid ikke at tilnærmingene som presenteres i veilederen ikke kan brukes, men heller at dette bør tas i betraktning når det utføres flomberegninger for denne typen nedbørfelt. Urbane områder (tette flater) medfører typisk en raskere avrenning (større flomtopp) og det er ikke unaturlig å tro at formelverket, som baserer seg utelukkende på naturlige felt, kan gi en noe lav verdi for Lundebekken. Med bakgrunn i dette settes Q_{200} for Lundebekken til $4,6 \text{ m}^3/\text{s} = 2000 \text{ l/s/km}^2$.

Vurdering av det hydrologiske grunnlaget

På bakgrunn av et svært begrenset datagrunnlag og også erfaringstall i regionen vurderes flomberegningen for Lundebekken til å være i klasse 5 «Begrenset hydrologisk datagrunnlag og store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området.» som er den laveste klassen i Tabell 9.

Klimapåslag

For å dimensjonere for fremtidig klima anbefales det å legge til et klimapåslag. Gjennom tilnærmingen beskrevet i kapittel 7.4 kan en finne at det for små nedbørfelt på Østlandet anbefales et klimapåslag på minst 20 %, men at opp mot 40 % bør vurderes for hver enkelt beregning. Ved å bruke resultatene fra «Klima i Norge 2100» settes klimapåslaget for Lundebekken til 40 %. Følgelig blir 200-årsflommen med klimapåslag for Lundebekken $1,4 \cdot 4,6 \text{ m}^3/\text{s} = 6,4 \text{ m}^3/\text{s} = 2800 \text{ l/s/km}^2$.

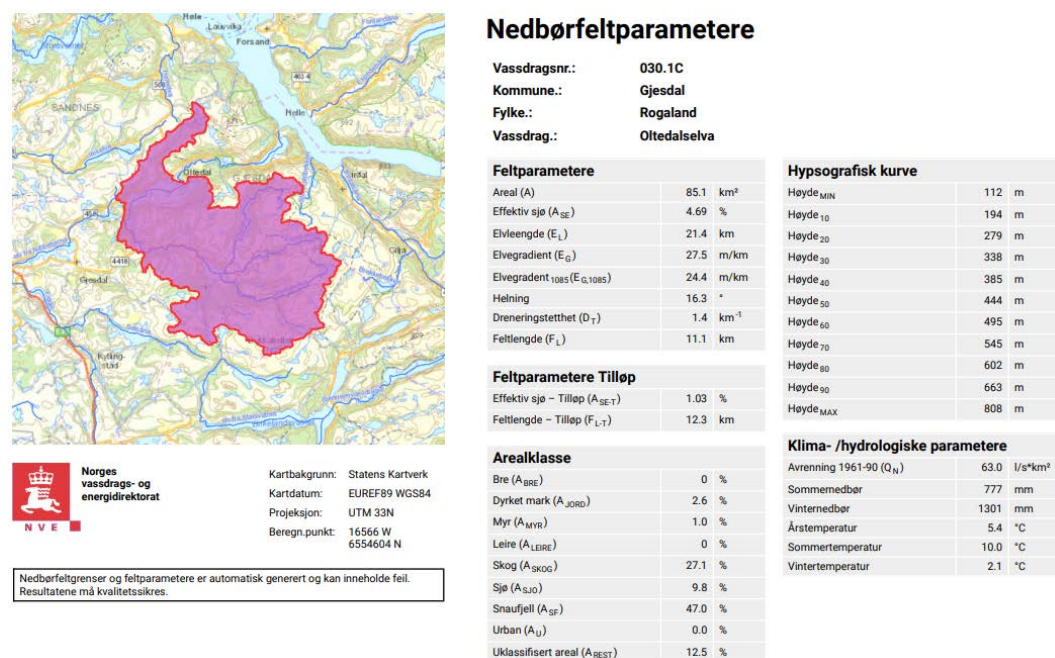
1.12 Vedlegg: Regneeksempel: Regulert nedbørfelt

Dette regneeksemplet viser en beregning av 200-årsflom i Oltedalselva ved Oltedal. Beregningene er på ingen måte komplett, men er ment å illustrere bruk av en del nye metoder og anbefalinger i denne veilederen. Resultatene er ikke endelige, men representerer foreløpige resultater ut fra analysene som er gjort.

Det er lagt vekt på å vise enkelte nye metoder og anbefalinger innen flomfrekvensanalyser. En beregnet tilsigs-/tilløpsserie for Oltedalsvatn er sentral i vurderingene og analysene som gjøres.

Beskrivelse av vassdraget

Oltedalsvatn ligger 111 moh. omkring to mil øst for Sandnes i Rogaland. Ved utløpet av Oltedalsvatn ligger tettstedet Oltedal. Nedbørfeltets areal er 85 km². De høyereliggende delene av feltet består av et småkupert terreng med mange små innsjøer. Vålandsknuten, som ligger øst i nedbørfeltet, er høyeste punkt i feltet med drøyt 800 moh. Effektiv sjøprosent for nedbørfeltet til Oltedalsvatn er i NEVINA beregnet til 1,0 % eksklusive magasinarealet (Figur 26) og 4,7 % inkludert magasinet.



Figur 26. Rapport fra Lavvannapplikasjonen (NEVINA) med opplysninger om feltparametere for Oltedalsvatn.

Reguleringer

Oltedalsvassdraget har vært regulert siden 1909. Oltedal kraftverk, har inntak i Oltedalsvatn, og driftsvannføringen kommer ut i Oltedalselva rett nedstrøms Oltedal sentrum. I 2014/ 2015 ble dammen revet og erstattet av en ny dam.

Det er to mindre magasiner oppstrøms Oltedalsvatn. Madlandsvatn ligger ca. 250 moh. og Kvitlavatn ca. 350 moh. Noen data for kraftverkene og tilhørende magasiner er gitt i Tabell 22. Verdiene for HRV, LRV og magasinivolum er fra NVE-Atlas (<https://atlas.nve.no>). Reguleringsgrad-magasin for Oltedal kraftverk er 19 %.

Tabell 22. Kraftverk og magasiner i Oltedalsvassdraget.

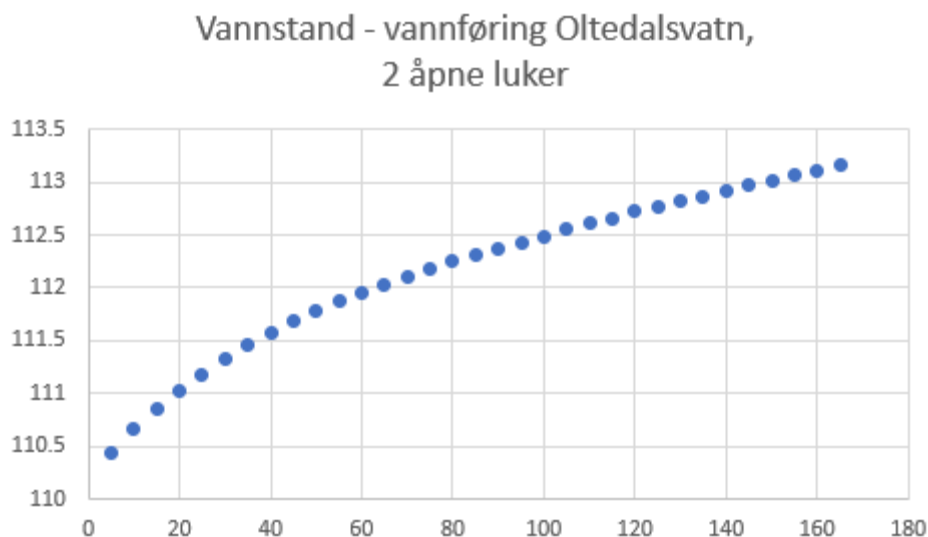
Kraftverk	Nedbørfelt	Maksimal slukeevne	Årstilsig	Magasinvolum
Oltedal kraftverk	85 km ²	16,4 m ³ /s	169 mill m ³	32 mill m ³
Magasin	Nedbørfelt	HRV	LRV	Magasinvolum
Kvitlavatn	12 km ²	354,2 moh	351,2 moh	1,0 mill m ³
Madlandsvatn	55 km ²	249,6 moh	248,0 moh	2,0 mill m ³
Oltedalsvatn	85 km ²	111,47 moh	100,47 moh	28,8 mill m ³



Figur 27. Oltedalsvatn, utløp er markert med rødt og Oltedal kraftverk, som har inntak i Oltedalsvatn, er markert med svart firkant.

I dette regneeksemplet er det gjort en forenkling, ved at de to magasinene Kvitlandsvatn og Madlavatn er regnet som uregulerte. Det vil si, de inngår i beregning av feltparametere for totalfeltet til Oltedalsvatn. Derfor er det heller ikke foretatt separat ruting av lokale tilløpsflommer til disse magasinene.

Dam Oltedalsvatn ligger i elveleiet om lag 300 m nedstrøms utløpet av vannet. Dammen ble nybygget i 2014/ 2015 og består av en betongterskel med topp på HRV 111,45 moh. og to klappeluker som hver er 7 m brede og 1,5 m høye. Terskelnivå på lukene er på kote 109,95. I henhold til SWECO-rapport «Flomberegninger for dammer i Oltedalsvass-dragnet» fra 2013 er avløpskapasiteten, forutsatt at begge lukene er åpne, ca. 35 m³/s ved HRV (111,47 moh.) økende til 95 m³/s ved en vannstand som er ca. 1 m over HRV.



Figur 28. Kapasitetskurve for luker Oltedalsvatn, gitt to åpne luker. Vannstand på y-akse er gitt i moh og vannføring x-akse i m³/s. Kilde: SWEKO (2013).

For Oltedalsvatn benyttes magasinkurve (Tabell 23) fra NVEs database, Hydra II. For vannstander over HRV gir magasinkurven et magasinareal på ca. 3,1 km². Dette harmonerer godt med beregnet sjøareal ved HRV i NVE-Atlas, som for Oltedalsvatn er 3,13 km².

Tabell 23. Magasinkurve Oltedalsvatn.

Vannstand	Magasinvolum
LRV = 100,47	0
106	12,9 mill m³
HRV = 111,47 moh	28,8 mill m³
114	36,6 mill m³

Middelflom, representative stasjoner

Ved bruk av NVE Seriekart er det plukket ut fire vannføringsstasjoner som er nyttige til vurdering av flomanalyser for Oltedalsvatn (Figur 29 og Tabell 24). Det fins også andre stasjoner som kan være aktuelle å benytte, men i dette eksemplet er det kun tatt med et lite utvalg.

Stasjonene Helleland og Liarvatn er noe påvirket av regulering, begge har lave reguleringsgrad-magasin (ca. 5 %). Flomverdiene ved disse stasjonene antas derfor å være lite endret som følge av reguleringene.



Figur 29. Vannføringsstasjoner i rimelig nærhet av Oltedal.

Tabell 24. Hydrologiske målestasjoner med utvalgte feltegenskaper i rimelig nærhet av Oltedalsvatn. Spesifikt årsavløp er beregnet fra avrenningskart 1961-90. *For Liarvatn er det mangelfulle observasjoner i periodene 1927-35, 1958-60 og 1994-96.

St. nr	St. navn	Obs.per.	Ant.år	Areal (km²)	Q _N (l/s/km²)	A _{se} (%)	Medianhøyde (moh)
	Oltedalsvatn			85,1	63	1,1 (4,69)	444
24.9	Tingvatn	1923-2020	98	272	60	3,1	588
27.15	Austrumdal	1986-2020	35	61	95	5,5	659
27.24	Helleland	1897-2020	122	185	80	1,1	487
32.6	Liarvatn	1915-2020*	90	56	68	3,8	602

Ut fra en sammenligning av feltparametere kan en vente at spesifikk middelflom for tilløpet til Oltedalsvatn (lavere effektiv sjøprosent, mindre feltareal og noe større middelavrenning) er høyere enn for Tingvatn (avløp). For de øvrige målestasjonene drar noen feltparametere i retning av større andre mot mindre spesifikke flomverdier enn for Oltedalsvatn.

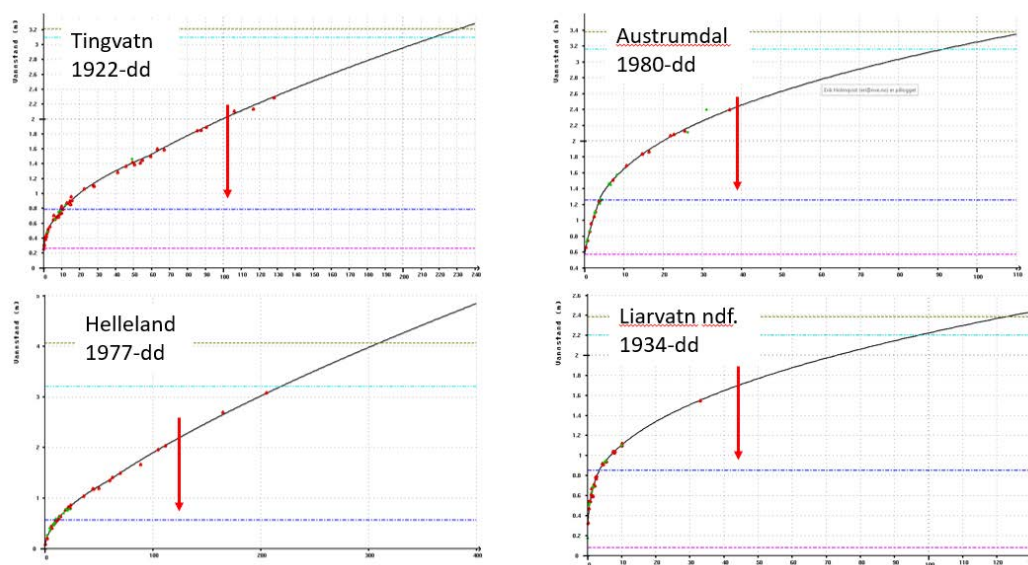
For disse fire stasjonene er [NVE Seriekart](#) benyttet for å få informasjon om kvaliteten til de enkelte vannføringskurvene. Kvaliteten er delt i fem klasser meget bra, bra, middels, dårlig og meget dårlig. For de fire stasjonene som er benyttet i dette eksemplet får Liarvatn «middels» kvalitet og de øvrige «bra» kvalitet for store

vannføringer (Tabell 25). Stor vannføring er vannføringer større enn beregnet 75%-persentil, dvs. at i gjennomsnitt har 1 av 4 dager i året stor vannføring. Stor vannføring er derfor ikke nødvendigvis en flomvannføring.

Vannføringskurvene for disse fire stasjonene er også plottet ved bruk av «VFTAB» (et av programmene i NVEs hydrologiske programvarebibliotek), hvor også beregnet middelflom for hver stasjon er markert (Figur 30). For Helleland og Tingvatn er det flere vannføringsmålinger som er på nivå med eller større enn middelflom. Flomverdiene for disse to stasjonene antas derfor å være gode. For spesielt Liarvatn, men også Austrumdal er det få målinger opp mot middelflom og ingen over dette nivået. Disse flomverdiene må derfor antas å være noe mer usikre enn for Helleland og Tingvatn. Ut fra Tabell 25 og Figur 30, er det rimelig å anta at beregnede flomverdier fra Liarvatn har størst usikkerhet.

Tabell 25. Kurvekvalitet for sammenligningsstasjonene ved stor (>75 % persentil), middels (25 - 75 % persentil) og liten (< 25 % persentil) vannføring.

St.nr.	St.navn	Stor vannføring	Middels vannføring	Liten vannføring
24.9	Tingvatn	Bra	Bra	Bra
27.15	Austrumdal	Bra	Bra	Bra
27.24	Helleland	Bra	Bra	Bra
32.6	Liarvatn	Middels	Middels	Meget dårlig



Figur 30. Vannføringskurver for fire stasjoner i nærheten av Oltedal, på y-aksene er det vannstand og på x-aksen vannføring i m³/s. Vannføringsmålinger som ligger til grunn for kurven er markert med røde punkter, og målinger som er gjort etter at kurven ble generert er markert med grønne punkter. Nivå for midlere flom er markert med rød pil. Høyeste observerte døgn- og momentanvannstand er markert med indigo og brun stiplet strek.

I Tabell 26 er beregnet middelflom for målestasjonene gitt. Verdien for Liarvatn synes å være høy sammenlignet med de øvrige. Ut fra effektiv sjøprosent og middelavrenning, ville en forventet lavere verdier her enn for eksempel for Helleland. Ut fra disse sammenligningsstasjonene forventes at midlere tilløpsflom for Oltedalsvatn er større enn 380 l/s/km², men ikke større enn 600 – 700 l/s/km².

Tabell 26. Middelflom ved målestasjoner i rimelig nærhet av Oltedalsvatn. Tall i parentes er for årene 2014-2020, dvs. de årene hvor en har samtidige tilløpsdata for Oltedalsvatn (se senere avsnitt)

***For Liarvatn er det mangelfulle observasjoner 1927-35, 1958-60 og 1994-96.**

St. nr	St. navn	Obs.per.	Ant.år	Middelflom (m³/s)	Middelflom (l/s/km²)
24.9	Tingvatn	1923-2020	98	103	377 (436)
27.15	Austrumdal	1986-2020	35	39	641 (719)
27.24	Helleland	1897-2020	122	113	610 (655)
32.6	Liarvatn	1915-2020*	90	44	780 (782)

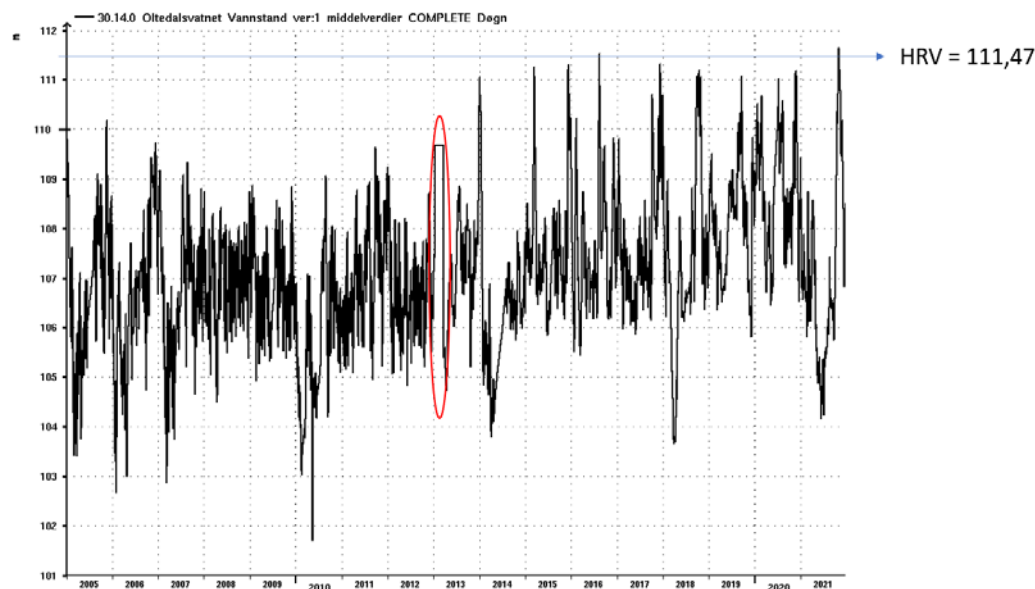
Medianflom fra regionalt formelverk

Regionalt formelverk (RFFA-2018 i NEVINA) gir en medianflom (tilløp) til Oltedalsvatn på 496 l/s/km², men med et usikkerhetsintervall (2,5 og 97,5-persentilen) som spenner fra ca. 280 til 880 l/s/km².

En spesifikk middel-/medianflom på omkring 500 l/s/km² harmonerer godt med spesifikke flomverdier fra nabostasjonene.

Beregning av tilløpsserie basert på magasindata

I NVEs database finnes det for Oltedalsvatn daglige magasin vannstander siden 2005. Figur 31 viser at vannstanden kun har vært over HRV (111,47 moh) i Oltedalsvatn to ganger siden 2005. Det var i august 2016 (111,54 moh) og oktober 2021 (111,65 moh). En gjennomgang av magasindataene tyder på at datakvaliteten er vesentlig bedre fra 2014 og fremover enn tidligere. I årene før 2014 er det mye «støy» som gir mange «kunstige» flomtopper.



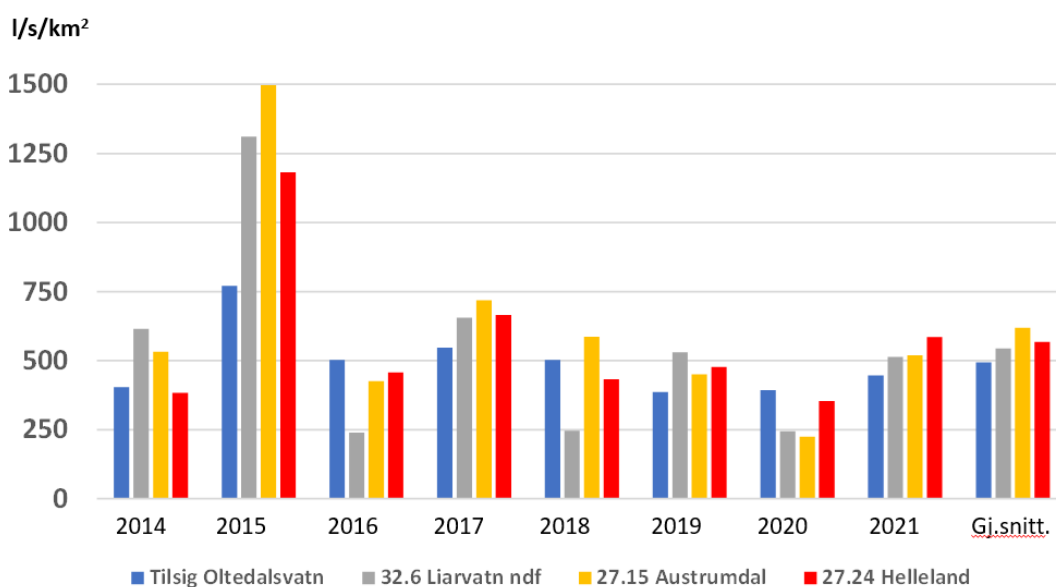
Figur 31. Magasin vannstand i Oltedalsvatn (2005 - 2021). Rød ring i starten av 2013 markerer en periode hvor vannstandsdataene antas å være feil. Det er generelt bedre kvalitet (mindre «støy») i vannstandsdata etter 2014 enn i tidligere år.

Det er derfor beregnet en tilløpsserie til Oltedalsvatn fra 2014 og fremover. Tilløpet er beregnet som endring av magasin volum i Oltedalsvatn fra en dag til neste (usentrerte differanser) tillagt driftsvannføring gjennom Oltedal kraftverk og eventuelt flomtap

(spill og tapping gjennom luker). For disse årene har Lyse Produksjon AS oversendt timesdata for driftsvannføring gjennom Oltedal kraftverk, samt spill og tapping gjennom lukene i Oltedalsvatn. Dette er så omregnet til døgnmidler. Det er ved beregning av tilløpsserien sett bort fra magasinendringer i Kvitlavatn og Madlandsvatn. Hvis disse og hadde vært hensyntatt, ville en fått en tilsigsserie (i stedet for en tilløpsserie) til Oltedalsvatn, men data fra disse to mindre magasinene har en del «støy» som forstyrrer beregningene, og de er derfor utelatt.

Største årlige tilløpsflom (døgn) til Oltedalsvatn, er sammenlignet med observasjoner fra tre vannføringsstasjoner (27.24 Helleland, 27.6 Austrumdal og 32.6 Liarvatn ndf.). Tilløpsflommene er illustrert i Figur 32 sammen med samtidig observerte spesifikke vannføringer (+/- 1 dag) ved målestasjonene. De beregnede tilløpsverdiene for Oltedalsvatn er og gitt i Tabell 27. Fra 2014 – 2021 har årlig maksimalt tilløp variert fra i underkant av 400 til nesten 800 l/s/km² og med en middsverdi på 494 l/s/km².

Figur 32 viser at beregnet tilløpflommer til Oltedalsvatn harmonerer godt med observasjoner fra sammenligningsstasjonene, selv om det naturlig nok er lokale forskjeller mellom feltene. Som regel er spesifikk avrenning noe høyere ved en eller flere av nabostasjonene enn for Oltedalsvatn, det er rimelig siden de også har noe høyere spesifikk middelavrenning enn Oltedalsvatn. I 2020 er imidlertid beregnet tilsig for Oltedalsvatn noe høyere enn for de øvrige stasjonene. Dette var i slutten av desember 2020. For å vurdere rimeligheten av det beregnede tilsiget i 2020, er magasin- og værdata sjekket ekstra for denne episoden.

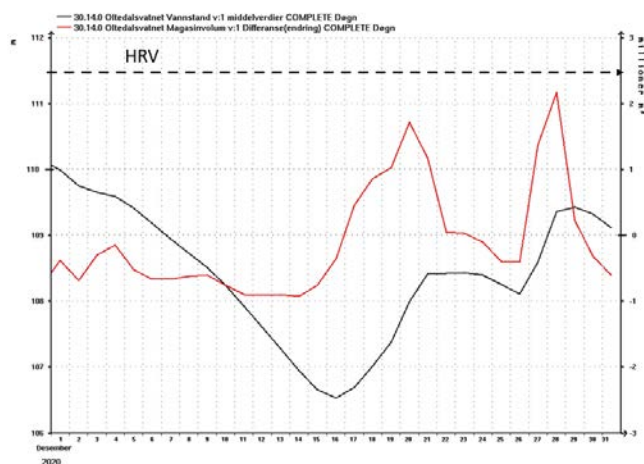


Figur 32. Beregnet årlig maksimalt tilløp til Oltedalsvatn 2014- 2021 (blå søyler) og samtidig spesifikk vannføring ved vannføringsstasjonene 32.6 Liarvatn ndf (grå søyler), 27.15 Austrumdal (oransje søyler) og 27.24 Helleland (røde søyler).

Tabell 27. Årlig maksimalt tilløp til Oltedalsvatn beregnet som magasinvolumendring fra en dag til neste (usentrerte differanser), tillagt driftsvannføring og tapping gjennom luker.

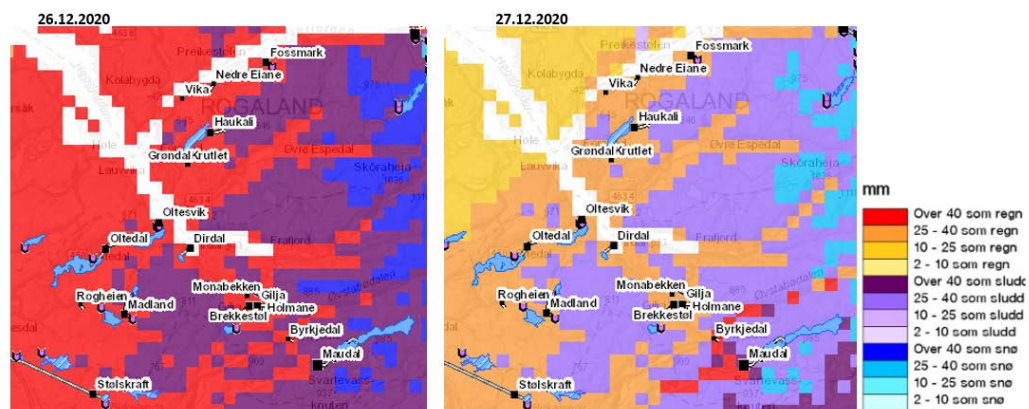
	Vol endring mill m ³	Vol.endring m ³ /s	Driftsvf. m ³ /s	Tapping luker m ³ /s	Sum m ³ /s	Sum l/s/km ²
20.03.2014	1,64	19	16	0	34	404
6.12.2015	4,26	49	16	0,7	66	770
8.2.2016	2,30	27	16	0,1	43	502
3.10.2017	3,21	37	10	0	47	547
22.9.2018	2,71	31	12	0	43	503
15.09.2019	2,35	27	6	0	33	386
28.12.2020	2,17	25	9	0	34	394
29.10.2021	0,95	11	16	11,1	38	447
Gj.snitt 2014-21					42	494
Gj.snitt 2014-20					43	501

Vannstandsdata fra Oltedalsvatn viser at vannstanden var godt under HRV i hele desember 2020, og det er heller ingen åpenbare feil i de registrerte vannstandene. Observasjonene gir en maksimal volumendring fra 27. - 28. desember med drøyt 2 mill.m³, og med en driftsvannføring på 9 m³/s blir da beregnet tilsig 34 m³/s eller et spesifikt tilsig på nesten 400 l/s/km².



Figur 33. Observert vannstand i Oltedalsvatn i desember 2020 (svart strek) og magasinvolumendring fra en dag til neste (rød strek). HRV er markert med svart stiplede strek.

Data fra xgeo.no viser at i slutten av desember 2020 kom det mye nedbør på Sør-Vestlandet. Under 600 moh kom det vesentligste av nedbøren som regn, høyere opp som sludd og snø. Medianhøyden i feltet til Oltedalsvatn er ca. 440 moh., mens for Austrumdal og Liarvatn er medianhøyden noe over 600 moh. og for Helleland ca. 490 moh. Det synes derfor rimelig at spesifikk avrenning i denne situasjonen var høyere i nedbørfeltet til Oltedalsvatn enn i sammenligningsfeltene.



Figur 34. Observert nedbør i form av regn (rødt - gult), sludd (lilla) og snø (blått) i områdene omkring Oltedal 26. og 27. desember 2020. Kilde xgeo.no.

De beregnede årlige maksimale tilløpene til Oltedalsvatn virker derfor rimelige. Disse beregningene gir en midlere tilløpsflom på omkring 500 l/s/km².

Beregnet midlere tilløpsflom for Oltedalsvatn er som forventet høyere enn for Tingvatn og noe lavere enn for Austrumdal og Helleland som ligger i et område med noe mer nedbør/ høyere spesifikk middellavrenning. Beregnet middelflom for Liarvatn er vesentlig høyere, men denne stasjonen antas å ha større usikkerhet enn de øvrige på grunn av få vannføringsmålinger ved store vannføringer. Perioden 2014 – 2020 gir for sammenligningsstasjonene middelflommer som er 0 – 16 % større enn når hele tidsseriene legges til grunn.

Forenklet lokal + regional analyse

Siden det finnes en kort tidsserie på åtte år for tilløpet til Oltedalsvatn, egner denne seg godt til metoden «Forenklet lokal + regional analyse, se kap. 4.2.4. Dette gjøres ved å legge inn den største observerte tilløpsflommen hvert år for Oltedalsvatn i NEVINA. Basert på observasjonene vil observert medianflom vektes mot regional medianflom beregnet fra RFFA-2018. Resultatene ses under.

I dette eksemplet korrigeres RFFA-2018-verdien svært lite. Dette skyldes at observert- og regional medianflom i utgangspunktet er svært like. Ser vi på usikkerhetsestimatene, ser vi at usikkerheten i estimatene er langt mindre for Forenklet lokal + regional analyse.

RFFA				År		Døgnmiddel (m ³ /s) (RFFA2018)
Parameternavn	Flomvannføring (m ³ /s)	95% intervall - nedre grense (m ³ /s)	95% intervall - øvre grense (m ³ /s)			
Medianflom (Q ₅₀)	42,3	24,9	71,9	2014		34
5-årsflom (Q ₅)	55,4	32,6	94,2	2015		66
10-årsflom (Q ₁₀)	64,3	37,8	109	2016		43
20-årsflom (Q ₂₀)	72,9	42,9	124	2017		47
50-årsflom (Q ₅₀)	84,3	49,6	143	2018		43
100-årsflom (Q ₁₀₀)	93,0	54,7	158	2019		33
200-årsflom (Q ₂₀₀)	101,8	59,9	173	2020		34
Egne målinger				2021		38
Parameternavn	Flomvannføring (m ³ /s)	95% intervall - nedre grense (m ³ /s)	95% intervall - øvre grense (m ³ /s)			
Medianflom (Q ₅₀)	41,4	33,9	50,5			
5-årsflom (Q ₅)	48,8	40,0	59,6			
10-årsflom (Q ₁₀)	56,7	46,4	69,1			
20-årsflom (Q ₂₀)	64,3	52,7	78,4			
50-årsflom (Q ₅₀)	74,3	60,9	90,7			
100-årsflom (Q ₁₀₀)	82,0	67,2	100			
200-årsflom (Q ₂₀₀)	89,7	73,5	110			
Tilløpsflom: Ja						
				40,5 m ³ /s Medianflom (døgn)		

Figur 35. Figuren til venstre viser hhv. beregnede flomverdier fra RFFA-2018 (øverst) og Forenklet lokal + RFFA-2018 (nederst – I test-versjonen av NEVINA som er benyttet til denne figuren beregnes 5- til 200-års flom med

egne målinger noe feil, mens medianflom er korrekt. Dette rettes til lansering). Figuren til høyre viser lokale data for tilløpsflom til Oltedalsvatn som er benyttet i analysen.

Endelig valg av midlere tilløpsflom

Både bruk av regionale flomformler og magasindata gir en midlere tilløpsflom på ca. 500 l/s/km² for Oltedalsvatn. Dette harmonerer også godt med data fra sammenlignings-stasjoner i nærheten og Forenklet lokal + regional analyse. Det antas derfor at dette er et rimelig estimat på middelflom (tilløp, døgnmiddel) for Oltedalsvatn.

Frekvensanalyse, gjentaksintervall

I dette regneeksemplet er det 200-årsflom som skal beregnes. Seriene Tingvatn, Helleland og Liarvatn er alle svært lange (i norsk målestokk) med omkring 90 – 120 år med data. Frekvensanalyse av data fra Liarvatn bør imidlertid gis mindre vekt enn de øvrige, på grunn av antatt dårligere kvalitet på flomdata (se tidligere avsnitt).

I Tabell 28 er frekvensanalyse ved bruk av GEV-fordelingen og L-moment (Lokal analyse) og GEV- Bayesiansk (Full lokal + regional analyse) kjørt i NVEs programvare FLOM_ANALYSE for målestasjonene.

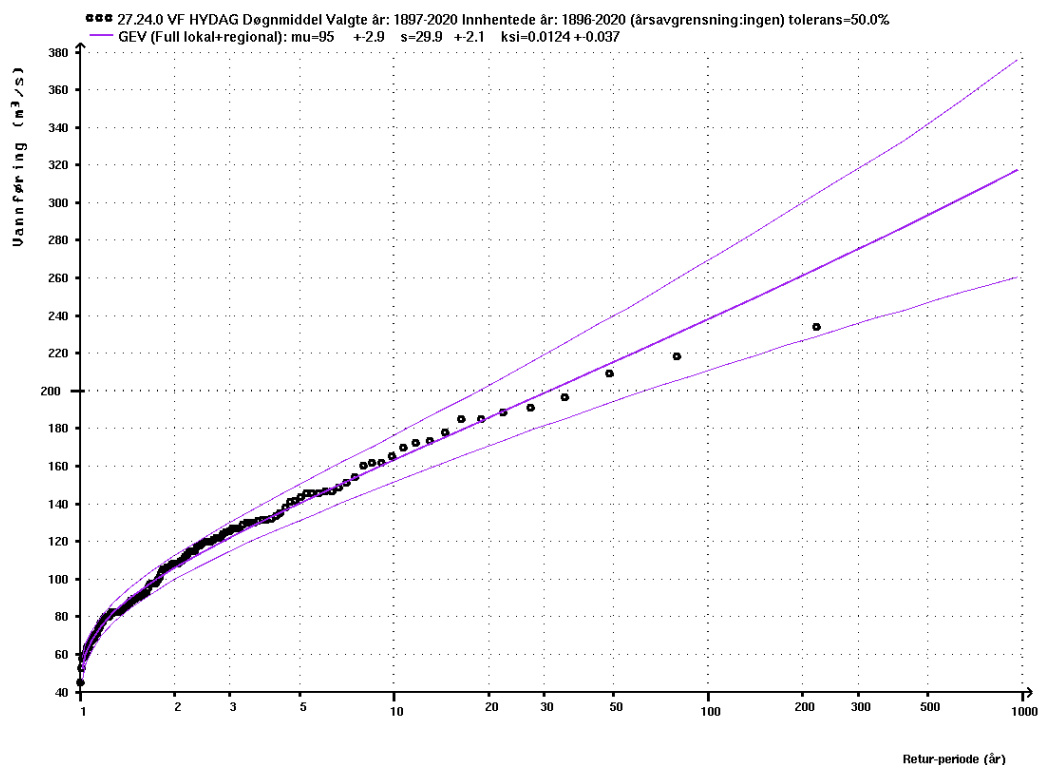
Tabell 28. Resultater fra flomfrekvensanalyser fra stasjoner i nærheten av Oltedalsvatn.

	År	Q_M l/s/km ²	Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	
24.9 Tingvatn	98	377	1,20	1,37	1,52	1,73	1,89	2,05	Full lok. + RFFA-2018
24.9 Tingvatn	98	377	1,18	1,34	1,49	1,70	1,86	2,02	Lok
27.24 Hellel.	124	610	1,25	1,46	1,66	1,92	2,12	2,33	Full lok. + RFFA-2018
27.24 Hellel.	124	610	1,25	1,45	1,64	1,87	2,05	2,22	Lok
32.6 Liarvatn	90	780	1,25	1,47	1,70	2,00	2,24	2,48	Full lok. + RFFA-2018
32.6 Liarvatn	90	780	1,27	1,53	1,79	2,15	2,44	2,75	Lok

Analyse kun med lokale data gir for disse tre stasjonene en variasjon i beregnet Q_{200}/Q_M fra ca. 2,0 til 2,8. Ved bruk av også regional informasjon, reduseres variasjonen i middelestimatet for de tre stasjonene til ca. 2,1 til 2,5.

Analysene fra Liarvatn tillegges mindre vekt enn de øvrige, og som ved beregning av middelflom antas dataene fra Helleland å være mer representative for tilløp til Oltedalsvatn enn data fra Tingvatn.

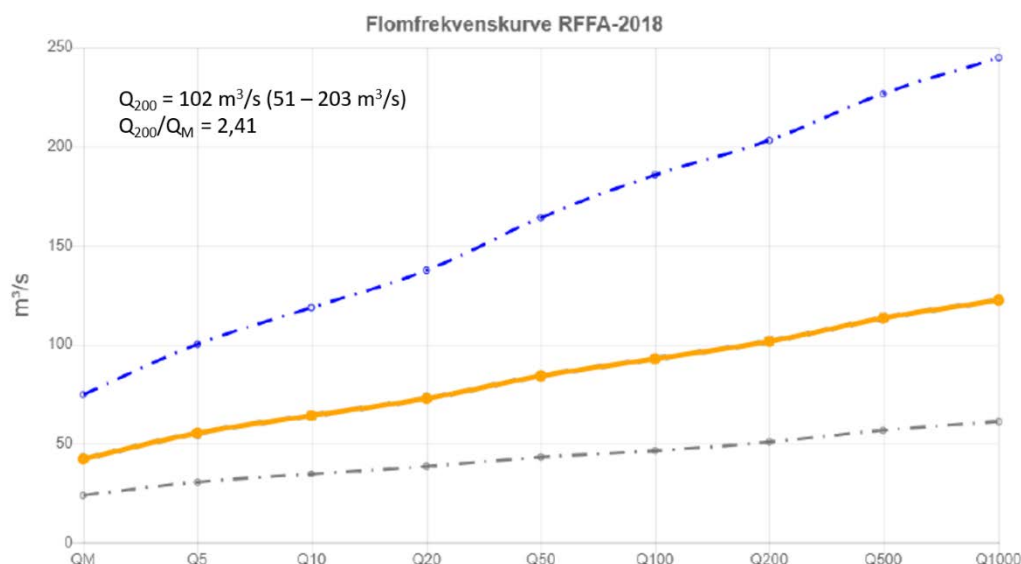
Helleland har den lengste observerte tidsserien av disse tre stasjonene, og resultatene fra denne stasjonen benyttes videre. I henhold til anbefalinger gitt i Engeland m.fl. 2020 (NVE-rapport 10-2020) velges resultatene ved bruk av både lokale data og regional informasjon. Det gir Q_{200}/Q_M på 2,33. De statistiske analysene for Helleland gir et utfallsrom (95 % konfidensintervall) fra ca. 2,0 til 2,6.



Figur 36. Frekvensanalyse av den 124 år lange tidsserien fra 27.24 Helleland i kombinasjon med regional informasjon. Det er benyttet GEV-fordeling. Analysene er kjørt i programmet «FLOM_ANALYSE» som ligger i NVEs programvarebibliotek. Øvre og nedre kurve viser beregnet 95 % konfidensintervall.

Dette gir en spesifikk 200-års tilløpsflom på 1165 l/s/km² for Oltedalsvatn og med et minste og største estimat på ca. 1000 og 1300 l/s/km². Dette tilsvarer en 200-års flomvannføring på 85 - 111 m³/s og med et midlere estimat på 99 m³/s. Dette er døgnmidler.

Dette harmonerer godt med kun bruk av feltparametere og regionale formler (RFFA-2018). Ved bruk av programsystemet NEVINA er 200-års tilløpsflom til Oltedalsvatn beregnet til 102 m³/s (Figur 37), men med et konfidensintervall som spenner fra 51 til 203 m³/s, eller fra ca. 600 til 2400 l/s/km².



Figur 37. Beregnet 200-års døgnflom for Oltedalsvatn ved bruk av feltparametere og bruk av regionale flomformler (RFFA2018). Beregningene er utført i programsystemet NEVINA. Verdiene som står i parentes viser usikkerhetsintervallet (2,5 og 97,5-persentilen).

Kulminasjonsvannføring

Flomvannføringene som hittil er presentert er døgnmiddelvannføringer.

Kulminasjons-vannføringer kan være vesentlig større. I programsystemet NEVINA er det beregnet et forholdstall mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføring på 1,22 for tilløp til Oltedalsvatn. Dette er basert på feltparametere. En tilsvarende analyse for Helleland gir 1,20. For å vurdere dette er både observerte data fra Helleland og magasindata fra Oltedalsvatn analysert.

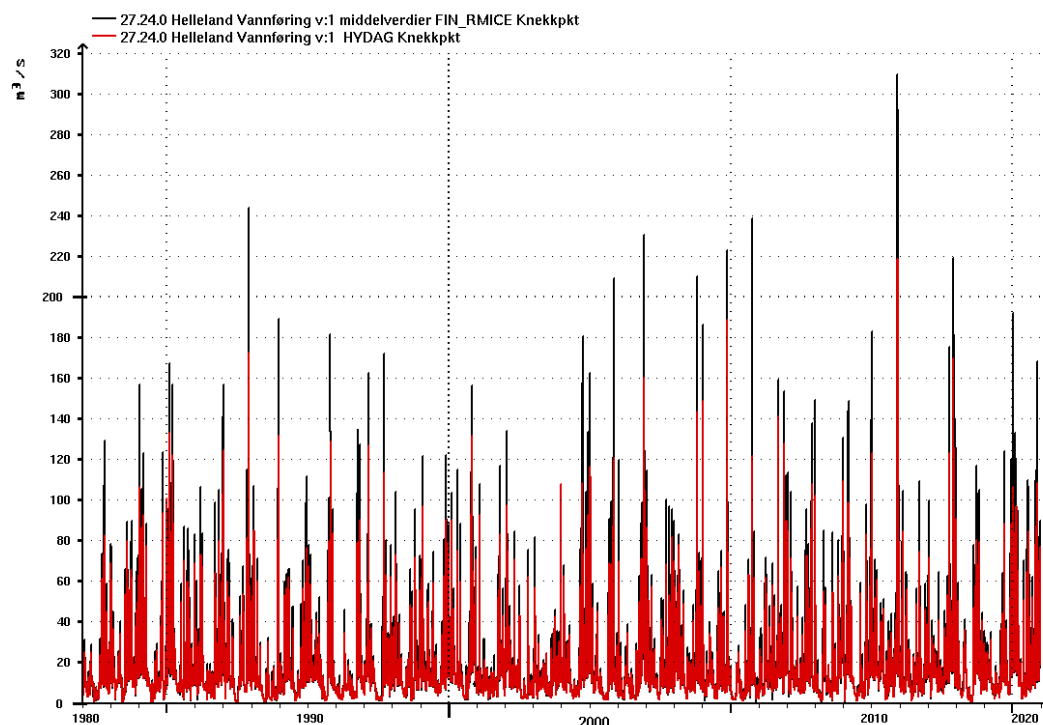
I perioden 1988-2020 fins det data med fin tidsoppløsning fra Helleland. I Figur 38 er disse plottet sammen med døgnmiddelvannføringene. Den høyeste døgnmiddel- og kulminasjonsvannføringen var 5. desember 2015, med et forholdstall på litt over 1,4 (Tabell 29). For de fem største flomvannføringene har forholdstallet variert fra ca. 1,2 – 2,0. For hele perioden 1988 – 2020 er det et forholdstall på ca. 1,4 mellom midlere kulminasjon- og døgnmiddelflom.

Tilsendte vannhusholdningsdata (timesoppløsning) for Oltedal er også gjennomgått for flommen i desember 2015. Det er også her sett bort fra de to magasinene lenger opp i vassdraget, inkluderes disse, blir maksimalt timetilsig flere hundre m³/s. Det er åpenbart feil og skyldes støy i magasin vannstandene. Data fra Oltedalsvatn (inklusive tapping gjennom kraftverk og luker) gir et maksimalt timestilsig på ca. 85 m³/s og et døgnmiddel på ca. 61 m³/s. Det gir et forholdstall på ca. 1,4. Dette harmonerer godt med verdien fra Helleland under denne flommen.

At beregnet døgnmiddeltilsig her (61 m³/s) avviker noe fra det som er presentert i tidligere avsnitt (66 m³/s) for flommen i desember 2021, skyldes sannsynligvis noe ulik beregning av døgnvannstand, her er det beregnet fra kl. 0 – 24. Det som er rapportert til NVEs database kan avvike noe fra dette.

Ut fra dette antas at midlere forholdstall basert på observasjoner fra Helleland fra 1988 – 2020 også er rimelig for tilløpsflom til Oltedalsvatn. I videre beregninger er det

derfor benyttet et forholdstall på 1,4 mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføring. Gitt en 200-års tilløpsflom (døgn) på 99 m³/s, blir kulminasjonsvannføringen 139 m³/s.



Figur 38. Kulminasjons- (svart strek) og døgnmiddelvannføring (rød strek) ved 27.24 Helleland 1988 – 2020.

Tabell 29. De fem største flomvannføringene ved 27.24 Helleland 1988 – 2020.

Dato	Kulminasjonsvannføring m ³ /s	Døgnmiddelvannføring m ³ /s	Forholdstall
5.12.2015	309	218	1,42
1.12.1992	244	172	1,42
6.10.2010	238	121	1,97
11.12.2006	230	160	1,44
20.11.2009	223	188	1,19
Midlere flom 1988-2020	161,4	116,8	1,38

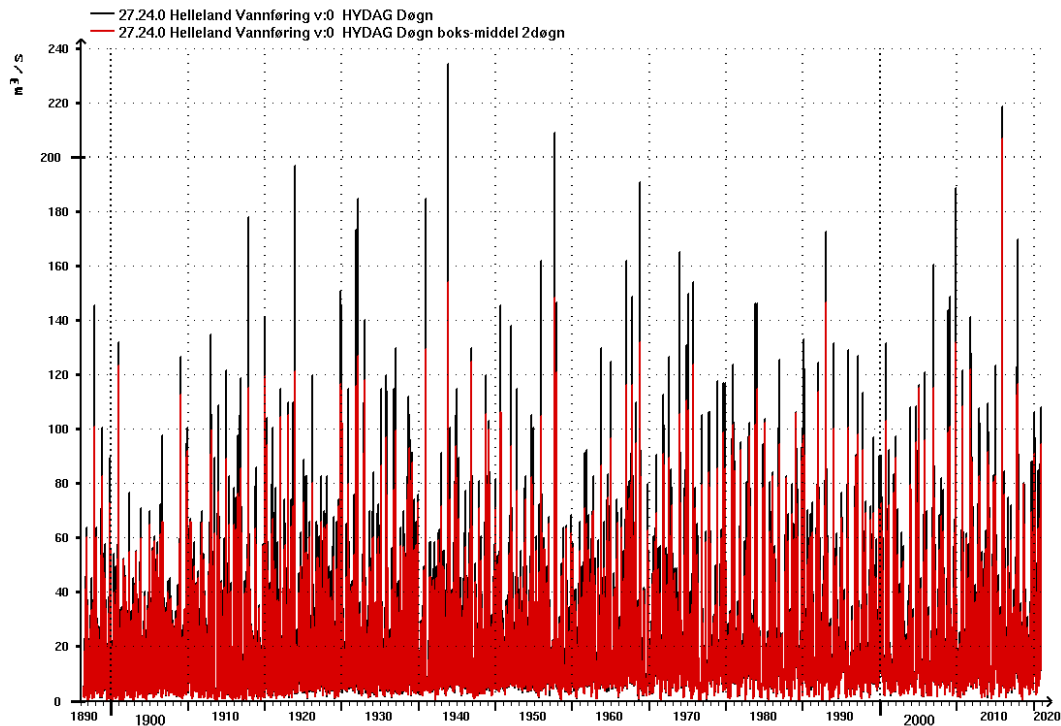
Flomforløp

I neste avsnitt om bruk av nedbør- avløpsmodell er det beregnet at total varighet på et flomforløp for Oltedalsvatn bør være ca. 2 døgn. Det er derfor også utført flomfrekvensanalyse på data fra de tre representative stasjonene over 2 døgn.

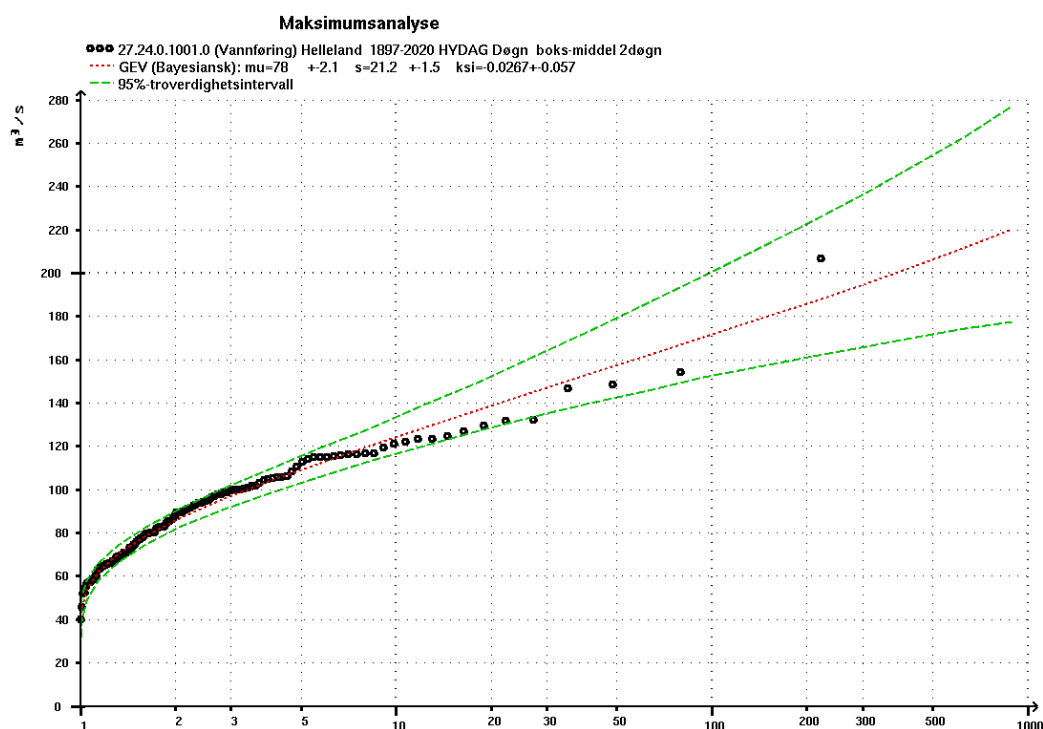
Ved frekvensanalyse for varighet større enn 1 døgn, kan NVEs analyseprogram DAGUT benyttes, men da kun analyse av lokale data. For alle tre stasjonene er det benyttet GEV-fordeling kombinert med L-moment ved flomanalyse over 2 døgn. Deretter er det beregnet forholdstallet mellom flom beregnet over 1 og 2 døgn for de ulike gjentaksintervallene.

Figur 39 viser vannføring midlet over 2 døgn og 1 døgn for Helleland fra 1890-tallet og frem til i dag. En ser av figuren at flommen i desember 2015 har det klart største 2 døgns midlet. Resultatet av flomfrekvensanalysen er vist i Figur 40 og Tabell 30.

Ut fra denne analysen hadde flommen i 2015, når en midler over 2 døgn, et gjentakintervall på omkring 500 år. Konfidensintervallene i Figur 40 viser imidlertid at gjentakintervallet kan ha vært omkring 100 år eller større enn 1000 år.



Figur 39. Vannføring ved Helleland 1896 – 2020, døgnmidler (svart) og 2-døgnsmidler (rød).



Figur 40. Flomfrekvensanalyse for Helleland, 1896-2020. Flomvannføringer er midlet over 2 døgn. Det er benyttet GEV-Bayesiansk analyse med kun lokale data.

Tabell 30. Resultater fra flomfrekvensanalyser for stasjoner i nærheten av Oltedalsvatn. Vannføringer er midlet over 2 døgn. Det er benyttet GEV-fordeling med Bayesiansk tilpasning.

	År	Q_M l/s/km ²	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
24.9 Tingvatn	98	352	1,17	1,31	1,45	1,62	1,76	1,90	2,08	2,22
27.24 Helleland	124	485	1,22	1,38	1,52	1,69	1,81	1,92	2,06	2,16
32.6 Liarvatn ndf.	90	640	1,24	1,48	1,72	2,05	2,33	2,62	3,03	3,36

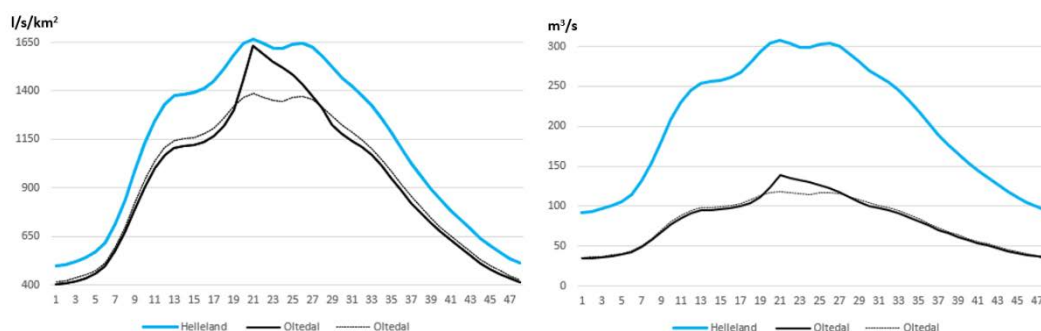
Det er beregnet forholdet mellom flomstørrelsene over 1 og 2 døgn for de tre stasjonene basert på samme analysemetode (GEV-L-moment, kun lokale data). En finner da at for midlere flom er 2 døgn-verdien 80 – 90 % av døgnverdien, mens for 200-årsflom er variasjonen noe større, fra omkring 70 – 90 %. Reduksjonen er noe større for Helleland enn for de to øvrige, dette harmonerer med at dette feltet har en lavere effektiv innsjøprosent enn de to øvrige. Under den store flommen i desember 2015 ved Helleland, er imidlertid største vannføring over 2 døgn 97 % av største døgnmiddel, men kun 75 % av maksimal 24-timers vannføring.

Ut fra en sammenligning med nabostasjonene, antas derfor at for 200-års tilløpsflom til Oltedalsvatn, er en 2 døgn verdi på 80 % av døgnverdien et rimelig estimat.

Tabell 31. Flomstørrelse midlet over 2 døgn i % av døgnflom.

	$Q_{M\ 2døgn}/Q_{M\ 1døgn}$	Q_{5-2}/Q_{5-1}	Q_{10-2}/Q_{10-1}	Q_{20-2}/Q_{20-1}	Q_{50-2}/Q_{50-1}	Q_{100-2}/Q_{100-1}	Q_{200-2}/Q_{200-1}	Q_{500-2}/Q_{500-1}	Q_{1000-2}/Q_{1000-1}
24.9 Tingvatn	93 %	93 %	91 %	91 %	89 %	88 %	88 %	87 %	86 %
27.24 Helleland	80 %	78 %	76 %	74 %	72 %	70 %	69 %	67 %	66 %
32.6 Liarvatn ndf.	82 %	80 %	79 %	79 %	78 %	78 %	78 %	78 %	78 %

Ved konstruksjon av 200 års tilløpsflom til Oltedalsvatn (Figur 41), er 2015-flommen fra Helleland benyttet som modellhydrogram. Forløpet er noe justert, slik at kulminasjonsvannføringen blir 139 m³/s, samtidig som flomtilløpet midlet over 2 døgn blir 80 m³/s (80 % av døgnverdien på 99 m³/s).



Figur 41. Modellhydrogram for 200-års tilløpsflom til Oltedalsvatn. Til høyre er timesverdier gitt i m³/s og til venstre i l/s/km². Blå strek viser observert vannføring ved Helleland i desember 2015. Svart stiplet strek viser beregnet tilløpsflom til Oltedalsvatn ved ren skalering av observasjonene fra Helleland. Svart fet strek viser et justert flomforløp, hvor kulminasjonsvannføringen harmoniserer med beregnet maksimalverdi samtidig som volumet over 2 døgn er uendret.

Nedbør- avløpsmodell (PQRUT)

Ved modellering av vassdraget er det her to vanlige tilnærminger; å se på nedbørfeltet til totalfeltet eller å dele opp i delfelter som beskriver lokalt nedbørfelt til hvert av de tre magasinene. Siden totalfeltet er relativt lite og vi ikke trenger detaljerte beregninger for de to øverste magasinene, er det valgt å ta utgangspunkt i totalfeltet. De to oppstrøms magasinenes inkluderes da gjennom feltparameteren effektiv sjøprosent. Dette vil i praksis være en forenkling, og kanskje ikke den beste måten å gjøre dette på.

For å utføre beregninger med nedbør-avløpsmodellen [PQRUT](#) skal modellen først kalibreres. Ettersom det ikke foreligger sikre observasjoner med fin tidsoppløsning som egner seg til å kalibrere modellparameterne K_1 , K_2 og T , er det benyttet ligningene presentert i 1.6.2.2. Feltparametere som representerer tilløpet til Oltedalsvatn er beregnet i NEVINA. I dette tilfellet gir de to ulike ligningssettene relativt lignende verdier for modellparametrene, se Tabell 32. Det benyttes formelverket fra 2016 videre i analysene.

Tabell 32. Modellparametere til PQRUT estimert ved hhv. formelverk fra 1983 og 2016.

Modell-parameter	Oltedalsvatn (totalfelt)	
	Lign. (1983)	Lign. (2016)
K1	0,071	0,067
K2	0,019	0,014
T	30,2	42,1

Initialvannføringen ble satt til tre ganger normalvannføringen og metningsgraden til 100%. Det er ikke tatt hensyn til nedbør direkte på magasin, men magasinarealet inngår i nedbørfeltene.

I tillegg må det bestemmes en dimensjonerende nedbørverdi og en konsentrasjonstid.

Konsentrasjonstid

Det er valg å beregne konsentrasjonstiden til totalfeltet til Oltevatn basert på en pragmatisk metode (vedlegg 961.6.3). Det er antatt en vannhastighet i vassdraget på 1,5 m/s i gjennomsnitt. Det gir:

$$T_c = 2,3 \text{ timer}$$

Varighet på forløp

Kritisk varighet for magasinet Oltedalsvatn kan bestemmes ved egen formel, se kap. 4.2.7.1.1 Basert på middelflom beregnet fra RFFA-2018, og informasjon om overløp og størrelse på magasinet blir kritisk varighet:

$$V_M = 21,1 \text{ timer}$$

Videre kan total varighet på forløpet estimeres ved formel gitt i kap. 4.2.7.1.2.

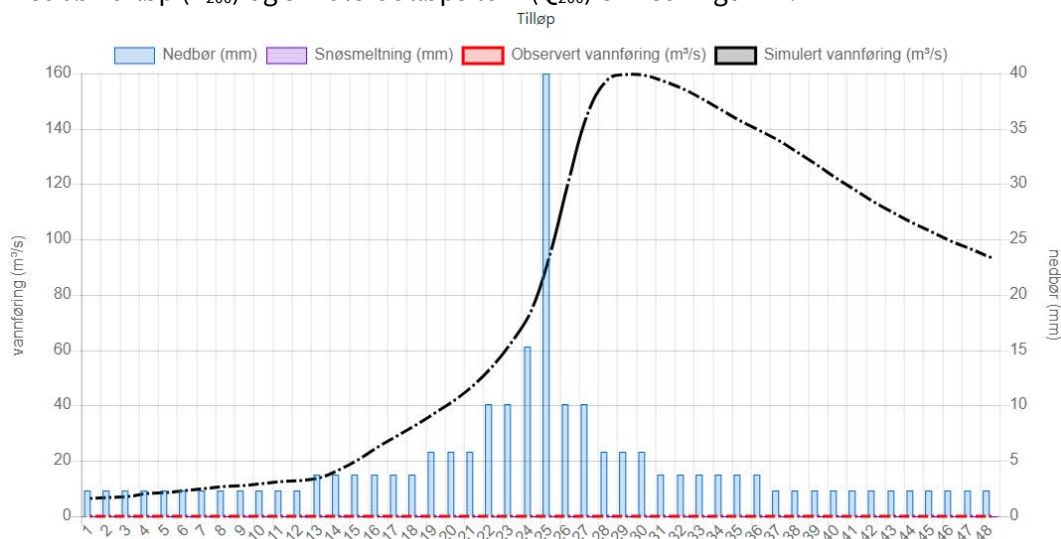
$$= 35,1 \text{ timer.}$$

Vi velger dermed å benytte et flomforløp på 2 døgn og der nedbøren er tilnærmet symmetrisk.

Nedbør og snøsmelting

Ekstremnedbør er beregnet av MET i 2009. Dette er noe gamle estimer, og bør ev. oppdateres i en endelig beregning. Vi benytter årsnedbør, og ser vekk fra ev. snøsmelting.

Nedbørforløp (P_{200}) og simulert tilløpsflom (Q_{200}) er vist i Figur 42.

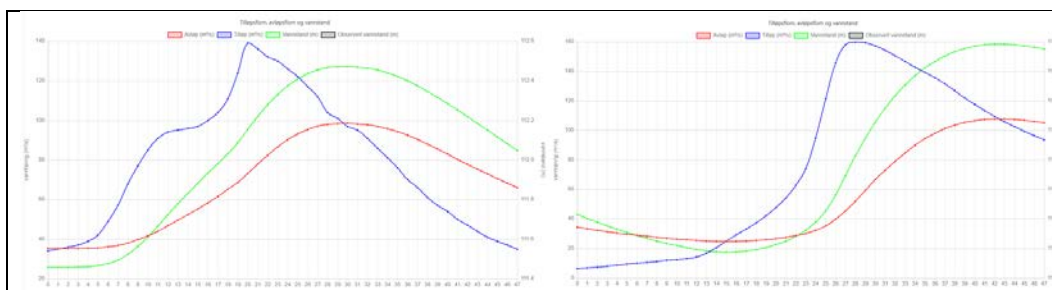


Figur 42. Konstruert nedbørforløp ut fra ekstremnedbør beregnet av MET og simulert flomforløp i PQRUT.

Ruting

Ved rutingen er det forutsatt at begge luker er åpne, men likevel at de er manøvrert slik at vannstanden ikke går under HRV i starten av flomforløpet. Vannstanden i magasinet ved starten av forløpet er satt lik HRV (111,47 moh). Magasinkurve og kapasitetskurve er vist tidligere i regneeksemplet. Vannstanden representerer høyden i Oltedalsvatn. Det er noe fall mellom Oltedalsvatn og dammen, slik at vannstanden ved dammen vil være noe lavere enn i Oltedalsvatn under flom.

Det er rutet 200-års tilløpsflom beregnet fra hhv. flomfrekvensanalysen og PQRUT. Figur 43. Ruting av 200-års tilløpsflom igjennom Oltedalsvatn basert på flomforløp fra frekvensanalyse (venstre) og nedbør-avløpsmodell (høyre). Figur 43 viser resultatene fra rutingen, der figuren til venstre viser forløp fra frekvensanalysen, mens figuren til høyre viser forløp fra nedbør-avløpsmodellen. De to metodene gir 200-års flomvannstander som begge er ca. 1 m over HRV, avviket mellom dem er ca. 10 cm. Beregninger gir dermed resultater som harmonerer rimelig godt, men dette er foreløpige resultater, og det er ikke gjort noen endelig vurdering av disse.



Figur 43. Ruting av 200-års tilløpsflom igjennom Oltedalsvatn basert på flomforløp fra frekvensanalyse (venstre) og nedbør-avløpsmodell (høyre).

Tabell 33. Resultater fra ruting av 200-årsflom gjennom Oltedalsvatn. Rutingen er utført for tilløpsflom beregnet fra hhv. flomfrekvensanalyser og nedbør-avløpsmodell. Vannstand gjelder ved dammen.

Metode	Flom	HRV (moh.)	Tilløp (m ³ /s)	Avløp (m ³ /s)	Vannstand (moh.)
FFA	Q200	111,47	139	98	112,47
NA	Q200	111,47	160	108	112,58

Klassifisering av flomberegning

Det er åtte år med vannhusholdningsdata (magasinvannstander, driftsvannføring og tapping gjennom luker) fra Oltedalsvassdraget, som er benyttet til beregning av årlige maksimale tilløpsflommer til Oltedalsvatn. For de mindre magasinene lenger opp i vassdraget er det mer «støy» i magasinvannstandene, slik at disse er utelatt fra analysene. Tidsserien for tilløpsflom til Oltedalsvatn er og kort med tanke på beregning av sjeldne flomhendelser, men er et godt bidrag for vurdering av middel-/medianflom.

Sammenligningsstasjonene i området viser at det er store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området. Ut fra anbefalingene gitt i kapittel 7.1.1, vurderes derfor denne flomberegningen å være i klasse 3, brukbart hydrologisk datagrunnlag, men store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området.

Dette regneeksemplet, er som nevnt innledningsvis, ikke en komplett flomberegning, men er ment å illustrere bruk av noen nye metoder og anbefalinger i denne veilederen. Resultatene er ikke endelige, og er derfor ikke sammenlignet med andre tidligere beregninger.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no