



Anbefale metoder for flomberegninger i små uregulerte felt

Naturfareprosjektet (NIFS), aktivitet 5.1 Flom- og
dimensjoneringsberegninger i små felt.

97
2015



R
A
P
P
O
R
T

Anbefale metoder for flomberegninger i små uregulerte felt

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Seija Stenius, Per Alve Glad

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 50

Forsidefoto: Sagfallet. Foto: Kjell Molkersrød, NVE.

ISBN 978-82-410-1149-8

Sammendrag: Rapporten anbefaler metoder som bør brukes ved estimering av flomstørrelser i små uregulerte nedbørfelt i Norge på bakgrunn av resultatene fra Stenius m. fl. (2015). Metodene som er brukt er flomfrekvensanalyser, et nytt formelverk for små uregulerte nedbørfelt (Glad m. fl., 2015), flommodulen i PQRUT og den rasjonale formel. Det er brukt data fra opptil 170 målestasjoner i analysene. Rapporten er en del av Naturfareprosjektet (NIFS), aktivitet 5.1 Flom og vann på avveie.

Emneord: NIFS, Flomberegninger, små felt, flomfrekvensanalyser, formelverk for små felt, flommodulen i PQRUT, Rasjonale formel.

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

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

November 2015

Innhold

Forord	2
Sammendrag	3
1 Innledning	4
2 Bakgrunn	4
2.1 Formelverk sammenlignet med observasjoner i vassdrag og frekvensanalyse	4
2.2 PQRUT sammenlignet med formelverk og frekvensanalyse	5
2.2.1 Feltets konsentrasjonstid	5
2.2.2 IVF-kurver	6
2.3 Rasjonale formel sammenlignet formelverk og frekvensanalyse	6
2.3.1 IVF-kurver	6
2.4 Mikrofelt	6
2.5 Findata - kulminasjonsverdier	7
2.6 Forhold mellom kulminasjonsverdier og døgnmiddelverdier	7
2.7 Flomregime	8
2.8 Meteorologiske data	8
3 Anbefale metoder	8
3.1 Analyser av observasjoner i vassdrag	8
3.1.1 Middelflom	9
3.1.2 Vekstkurve	9
3.1.3 Vurdering av representativitet/sammenlignbarhet	9
3.1.3.1 Feltegenskapers betydning på flomforløpet	10
3.2 Formelverk for små felt	11
3.3 Flommodulen i PQRUT	11
3.3.1 Varighet og konsentrasjonstid	12
3.3.2 Tidskritt	12
3.3.3 Nedbør	12
3.3.4 Feltets initialtilstand	12
3.4 Rasjonale formel	13
3.4.1 Avrenningsfaktoren C	13
3.4.2 Nedbør	13
3.5 Dimensjonerende nedbørverdi	13
4 Oppsummering	14
Referanser	16

Forord

Etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)" er et samarbeidsprosjekt mellom NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen (<http://www.naturfare.no>). Etatsprogrammet er oppdelt i flere ulike delprosjekter med underliggende aktiviteter. Denne rapporten er laget som en deloppgave, 5.1.8 Anbefale metoder, av aktivitet 5.1, Flom- og dimensjoneringsberegninger i små felt. Rapporten diskuterer de ulike metodene som er brukt i prosjektet og resultatene som er presentert i rapport 5.1.7 «Sammenligning av metoder for flomberegninger i små umålte felt» (Stenius m. fl., 2015). Ut fra resultatene som er presentert i rapport 5.1.7 anbefales metoder for estimering av flomstørrelser i små umålte nedbørfelt.

Oslo, november 2015



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Metodene som bør brukes ved en flomberegning kan variere stort fra sted til sted avhengig av mange ulike faktorer. Dette kan for eksempel være avhengig av om det finnes målestasjoner i eller nært vassdraget, datakvaliteten og lengden på eventuelle tidsserier og hvor sammenlignbar en eventuell målestasjon(er) er med feltet som skal analyseres.

I denne rapporten nevnes i hovedsak fire ulike metoder:

- Flomfrekvensanalyse
- Formelverk
- Flommodulen i PQRUT
- Rasjonale formelen

Formelverket (Glad m. fl., 2015) gir et raskt og enkelt estimat av middelflommen og vekstkurven. Usikkerheten (95 % konfidensintervall) i formelverket er anslått til et intervall på ca. 0,6 – 1,8 ganger verdien av middelflommen og ca. 0,5 – 2 ganger verdien av 200-års flommen. Formelverket anbefales ikke å brukes ukritisk.

Hvis det finnes tilgjengelige sammenligningsstasjoner anbefales det å utføre flomfrekvensanalyse. Middelflom beregnes fortrinnsvis ved hjelp av observerte dataserier hvis disse vurderes å være representative og av tilstrekkelig lengde og datakvalitet.

Vekstkurven fra formelverket vurderes som robust og lite sensitivt for lokale variasjoner og anbefales derfor som regel som første valg. Hvis det finnes lange tidsserier (50-100 år eller mer) med god kvalitet som vurderes som representative, sammenlign da gjerne vekstkurve fra formelverket med vekstkurve fra data og vurder hva som virker mest sannsynlig. Det kan også lages en kombinasjon av vekstkurve fra formelverk og data.

Flomverdiene kan i tillegg sammenlignes med andre metoder, som flommodulen i PQRUT og/eller Rasjonale formel.

Valg av endelig estimat kan gjøres ut fra mange ulike kriterier. Det er ofte ikke mulig å vurdere hvilken metode som gir den minste usikkerheten. Flomberegner må ut fra faglig skjønn og en samlet vurdering av alle estimatene velge det estimatet man mener er mest trolig. Dette estimatet kan også være en vektet middelvei av to eller flere resultat fra de ulike metodene. Eventuelle erfaringstall fra regionen kan også brukes til å vurdere de endelige estimatene.

1 Innledning

Et ledd i NIFS prosjektets aktivitet 5.1 (Flom- og dimensjoneringsberegninger i små felt) er å kvalitetskontrollere observerte flomdata fra målestasjoner i små felt, samt videreutvikle flomberegningsmetodikk for små felt i Norge. Følgelig er det laget en oversikt over alle vannføringsstasjoner som eksisterer/har eksistert og som har data på NVEs hydrologiske database med nedbørfelt mindre enn ca. 50 km² (Stenius, 2013). Ut fra denne sammenstillingen er det valgt ut stasjoner etter utvalgte kriterier for videre analyser for de ulike deloppgavene i aktivitet 5.1.

I denne rapporten diskuteres og sammenlignes resultater fra ulike metoder som er nærmere beskrevet i rapport «Sammenligning av metoder for flomberegninger i små uregulerte felt» (Stenius m. fl., 2015). Metodene som er brukt er flomfrekvensanalyser, et nytt formelverk for små uregulerte nedbørfelt (Glad m. fl., 2015), flommodulen i PQRUT og den rasjonale formel. Det er brukt data fra opptil 170 målestasjoner i analysene. I denne rapporten anbefales metoder som bør brukes ved estimering av flomstørrelser i små uregulerte nedbørfelt i Norge på bakgrunn av resultatene fra Stenius m. fl. (2015).

2 Bakgrunn

I Stenius m.fl. (2015) presenteres flomverdier (kulminasjonsverdier) med ulike gjentaksintervall beregnet med ulike metoder for opptil 170 målestasjoner i små nedbørfelt (< ca. 50 km²).

Metodene som ble brukt er flomfrekvensanalyser, formelverk for små nedbørfelt (Glad m. fl., 2015), flommodulen i PQRUT og rasjonale formel. Middelflommen for hver målestasjon er estimert ut fra datamaterialet som var tilgjengelig ved tidspunktet for analysene, med en tidsoppløsning finere enn et døgn.

Resultatet av sammenligningen av de ulike metodene presenteres kortfattet i de påfølgende kapitlene.

2.1 Formelverk sammenlignet med observasjoner i vassdrag og frekvensanalyse

Avviket mellom middelflommer beregnet fra observerte data og middelflommer beregnet med formelverket (Glad m. fl., 2015) ble relativt jevnt fordelt, ingen tydelig tendens til over- eller underestimering. For flommer med høyere gjentaksintervall ble det oppdaget et mer systematisk avvik ved sammenligning av frekvensanalyse og formelverk (Stenius m. fl., 2015). Verdiene fra formelverket var ofte høyere sammenlignet med verdiene fra frekvensanalyse for de høye gjentaksintervallene. Dette skyldes til stor del en systematisk uoverensstemmelse mellom vekstkurvene fra flomfrekvensanalyse (lokalt tilpassede fordelinger) og vekstkurvene fra formelverket (regionalt tilpassede fordelinger), i det at den generelt er brattere. Dette kan i sin tur skyldes flere faktorer. Regresjonsanalysene som ligger til grunn for formelverket er basert på et mye større datasett og vil derfor inneholde mer informasjon om virkelig ekstreme hendelser. Fordelingsvalg og parameter-

estimerer vil være sikrere, mens lokale frekvensanalyser i større grad er prisgitt de skjevheter som kan ligge i fordelingsvalg og estimeringsmetoder.

Flere av feltene (målestasjonene) der det var store avvik mellom verdier beregnet med formelverket og frekvensanalyse viste seg å ha enten en eller flere av følgende:

- Korte tidsserier og/eller mye hull
- Usikkert datagrunnlag
- Isproblematikk
- Usikker vannføringskurve på flom
- Brattere eller slakere vekstkurver valgt i frekvensanalysen enn det som kanskje er «vanlig» eller «realistisk»
- Usikkerhet i middelvannføringen fra avrenningskartet, 61-90, som gir usikkerhet i beregningen av middelflommen med formelverket.
- Feltegenskaper som avviker mye i forhold til de andre feltene (f.eks. høy effektiv sjøprosent).

2.2 PQRUT sammenlignet med formelverk og frekvensanalyse

Det viste seg i Stenius m.fl. (2015) at flomverdiene estimert ved hjelp av flommodulen i PQRUT økte med økende varighet på nedbørforløpet. Det ble brukt fire ulike metoder for å bestemme varigheten for hvert enkelt felt. De to metodene med lengst varighet ga generelt best samsvar med resultatene fra formelverket, men noe kortere varigheter ga bedre samsvar med resultatene fra frekvensanalysene.

En felles tendens ved sammenligning av resultater fra PQRUT med resultater fra frekvensanalyser og formelverket var at PQRUT oftere underestimerte verdiene for de mindre nedbørfeltene og oftere overestimerte for de større feltene. Resultatene fra flomfrekvensanalysene og formelverket viser at de spesifikke flomverdiene generelt blir lavere ved økende feltareal, men resultatene fra PQRUT viser en tilnærmet nøytral eller negativ tendens med økende feltareal (avhengig av valg av varigheten på nedbørforløpet). Det ser dermed ut som at feltstørrelsen har en større innvirkning på resultatene ved bruk av PQRUT sammenlignet med de andre to metodene.

For felt som har høy spesifikk middelvannføring gir PQRUT lavere flomverdier, sammenlignet med de to andre metodene. Dette er særlig tydelig for felt som har en spesifikk middelvannføring større enn 100-120 l/s·km². For nesten alle felt i denne kategorien, som er med i prosjektet, fås lavere flomverdier ved bruk av PQRUT sammenlignet med de andre to metodene (Stenius m. fl., 2015).

2.2.1 Feltets konsentrasjonstid

Feltets konsentrasjonstid i flommodellen (PQRUT) er ikke en fysisk parameter, men snarere en modellparameter, og gir dermed ikke bestandig en realistisk verdi. Det er derfor vanskelig å direkte sammenligne konsentrasjonstidene beregnet med metoden utviklet for PQRUT (der nedre tømme konstanten K₂ brukes, Midttømme m.fl., 2011) og konsentrasjonstiden beregnet med for eksempel formelverk fra Håndbok N200 (SVV, 2014). Det viste seg også at ved bruk av de lengre konsentrasjonstidene ble samsvaret med andre metoder bedre selv om de vurderes som mer urealistiske med tanke på feltets egenskaper enn de kortere konsentrasjonstidene.

2.2.2 IVF-kurver

Den totale nedbørmengden (i mm) for et gitt nedbørforløp ble funnet ved hjelp av regionale Intensitet-Varighet-Frekvens kurver (IVF-kurver) utarbeidet av Meteorologisk Institutt (Ødemark m.fl., 2012; Førland m.fl., 3-2014 og Førland m.fl., 42-2014). IVF-kurvene angir nedbørintensitet per time fra 1 til 24 timer.

Det ble ikke brukt lokale IVF-kurver ved beregning av flomverdier med flommodulen i PQRUT.

2.3 Rasjonale formel sammenlignet formelverk og frekvensanalyse

Ved bruk av den Rasjonale formelen må blant annet avrenningsfaktoren, C, bestemmes. I dette prosjektet er det brukt to ulike avrenningsfaktorer på hvert felt, en noe høyere og en noe lavere C-verdi (for nærmere beskrivelse se Stenius m. fl., 2015).

Det viste seg at flomverdier estimert med de lavere C-verdiene gav et generelt bedre samsvar med resultater fra flomfrekvensanalysene sammenlignet med flomverdier estimert med de høyere C-verdiene. Denne tendensen var tydelig for både høye og lave gjentaksintervall (5- og 200-år, Stenius m. fl., 2015).

Ved sammenligning med formelverket er det for de lave gjentaksintervallene (5-år) generelt et bedre samsvar ved bruk av de lavere C-verdiene, men for høye gjentaksintervall (200-år) ser det ut som at en middelvei av de valgte C-verdiene skulle ha gitt det beste samsvaret med formelverket (de lave C-verdiene gav en overvekt av for lave flomverdier og de øvre C-verdiene gav en overvekt av for høye flomverdier).

2.3.1 IVF-kurver

Dimensjonerende nedbørintensitet ble hentet ut fra tabeller basert på IVF-kurver for nedbørmålinger med nærmest geografisk beliggenhet (lokale IVF-kurver). Der et nedbørfelt befant seg mellom to stasjoner ble det estimert nedbørintensitet utifra en sammenlikning av begge nedbørstasjonene. Det er i tillegg beregnet flommer med gjentaksintervall 200 år med nedbørverdier fra de regionale IVF-kurvene (Ødemark m. fl., 2012 og Førland m. fl., 3-2014 og 42-2014).

De spesifikke flomverdiene estimert med lokale IVF-kurver fikk noe større spredning sammenlignet med verdier estimert med regionale IVF-kurver. For enkelte stasjoner ble avviket i forhold til frekvensanalyse mye større for regionale IVF-kurver sammenlignet med lokale IVF-kurver.

2.4 Mikrofelt

Mikrofelt er felt som vi her definerer som felt under ca. en 1 km². Det foreligger i dag svært få lange måleserier i så små nedbørfelt, noe som gjør det utfordrende å gjøre gode analyser. I NIFS-prosjektets gjennomgang av NVEs hydrologiske database ble det totalt identifisert 37 målestasjoner som måler eller har målt vannføring med nedbørfelt under ca. 1 km². Av disse er det 13 stasjoner som er i drift i dag, og de fleste av disse er urbanstasjoner. Det ble kun identifisert 6 vannføringsstasjoner med et brukbart hydrologisk datagrunnlag for statistiske analyser i denne kategorien. Nedbørfeltene ligger alle i Sør-Norge og varierer i størrelsesorden 0,2 – 1,2 km².

God kunnskap om hydrologi i mikrofelt er helt avgjørende for å kunne utføre gode dimensjoneringsberegninger. Store deler av Norges vei- og jernbanenett ligger utsatt til for flomproblematikk knyttet til nedbørfelt i kategorien. Det anses følgelig som viktig at det blir satt et fokus på flere målinger av vannføring i mikrofelt. Dette for å ha et bedre grunnlag for å gjøre dimensjonerende beregninger på, samt å øke prosessforståelsen.

Per dags dato jobbes det i NVE primært med kvalitetskontroll av døgndata, noe som medfører utfordringer for datakvaliteten i mikrofelt, hvor findata er helt avgjørende ved flomanalyser.

2.5 Findata - kulminasjonsverdier

Det som i dette prosjektet kalles findata har en veldig variert oppløsning. Stasjoner som har hatt limnigrafiskjema, og hvor disse er blitt digitalisert, gir det nærmeste vi kan komme en kulminasjonsverdi på flom. Ved digitalisering registreres data med ulike tidsoppløsninger, avhengig av om det er store eller små endringer i vannstanden/vannføringen (dette blir lagret med tidsoppløsning «knekkpunktverdier» i Hydra II). Ved enkelte stasjoner registreres data på en oppløsning finere enn døgn, men mer sjelden enn time, dette kan f.eks. skje grunnet begrenset batterikapasitet. Det blir også registrert data med finere tidsoppløsning enn time ved stasjoner der dette vurderes som hensiktsmessig, f.eks. stasjoner med veldig raske felt.

Timesoppløsning gir for de fleste vassdragene en flomverdi som er nær nok kulminasjonsverdien, men for veldig små felt og/eller veldig raske felt er ikke timesverdien nødvendigvis lik kulminasjonsverdien.

2.6 Forhold mellom kulminasjonsverdier og døgnmiddelverdier

Denne rapporten går stort sett ut ifra at analyser på observasjoner i vassdrag gjøres direkte på findata. Selv om de fleste av NVEs målestasjoner i dag logger data på timesoppløsning har det ikke bestandig vært slik. For å gjøre analyser på lengre dataserier er det derfor oftest nødvendig å utføre analysene på døgnoppløsning. Resultatene som fås er dermed døgnmiddelverdier som må regnes om til en kulminasjonsverdi før de er sammenlignbare med resultatene fra for eksempel formelverket (som gir resultater direkte som kulminasjonsverdier). Det kan også være aktuelt å «regne om» kulminasjonsverdier til døgnverdier for sammenlignbarhet.

I dette prosjektet er det ikke gjort noen egne analyser av forholdstallet mellom kulminasjonsvannføringer/momentanvannføringer og døgnmiddelvannføringer ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$). I Sælthun m. fl. (1997) ble det utledet et formelverk basert på feltparametere for å estimere forholdstallet mellom kulminasjon- og døgnverdier. Formelverket er presentert i ligning 1 og 2 og skiller mellom vår- og høstflommer.

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5} \quad (1)$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5} \quad (2)$$

I likningen over er A nedbørfeltets areal og A_{SE} effektiv sjøprosent. Formlene er utviklet på et grunnlagsmateriale der feltarealene har variert mellom 5,9 – 4411 km² og den effektive sjøprosenten har variert mellom 0,01 – 22 % (Sælthun m. fl., 1997). Merk at

ligningene (1 og 2) ikke er utviklet spesielt for små felt. Ligningene har en form som kan gi urealistiske verdier, særlig for felt med stor effektiv sjøprosent (Midttømme m. fl., 2011) og ligningene må derfor ikke benyttes ukritisk.

2.7 Flomregime

Et flomregime indikerer hvilke prosesser som forårsaker de store flommene. Dette er i all hovedsak regn, snøsmelting eller en kombinasjonen av disse. Små nedbørfelt responderer raskt, hvilket medfører at det gjerne er kortvarige intense prosesser som fører til de største flommene. Dette er eksempelvis bygevær om sommeren. For å kunne tilføre et nedbørfelt tilsvarende mengder vann ved utløpet som følge av snøsmelting, må temperaturen og tilgjengeligheten på snø være svært høy. Dette betyr imidlertid ikke at det ikke eksisterer små nedbørfelt hvor snøsmelteflommene er de største, men heller at dette er mer uvanlig enn for større nedbørfelt. Det er imidlertid viktig å påpeke at snøsmelting ofte vil være med å bidra til store flommer i små nedbørfelt i store deler av landet, men at bidraget fra snø ikke er like stort som fra nedbør i form av regn. For mer om flomregimer se Stenius m. fl. (2014).

2.8 Meteorologiske data

Nedbør og lufttemperaturdata er avgjørende for omfanget av en flomhendelse og er ofte nødvendig data for å kunne dimensjonere en flomstørrelse. Observerte data kan lastes ned fra Meteorologisk Institutt sin nettportal www.eklima.no, med fin tidsoppløsning eller med døgnoppløsning. Resultatene fra analysene utført av Meteorologisk Institutt i NIFS-prosjektet (Førland m. fl., 2015) gir et godt grunnlag for å velge dimensjonerende nedbør for varigheter opp mot 24 timer og returperioder på opptil 200 år. IVF-kurver for nedbør med varighet opp mot 24 timer og returperioder opptil 200 år kan lastes ned fra Meteorologisk Institutt sin nettportal www.eklima.no. For varigheter over 1 døgn og returperioder over 200 år må estimerer bestilles fra Meteorologisk Institutt eller en annen meteorologisk institusjon som kan dokumentere en faglig god beregningsmetodikk. På www.yr.no kan en i tillegg finne klimastatistikk for en rekke meteorologisk stasjoner.

3 Anbefale metoder

I dette kapitlet presenteres de tilnæringsmetoder som anbefales for flomberegninger i små nedbørfelt og hvordan de ulike metodene bør brukes.

3.1 Analyser av observasjoner i vassdrag

Ved estimering av flomverdier i umålte felt er observerte data fra sammenlignbare vassdrag stort sett å foretrekke. Det avhenger litt av hvilken flomstørrelse som er ønskelig og selvfølgelig av om de observerte dataene som er tilgjengelige vurderes å være sammenlignbare med vassdraget som skal analyseres. I tillegg må dataserien være av tilstrekkelig lengde og kvalitet.

Dersom en ikke har representative målestasjoner må andre metoder benyttes, for mer inngående beskrivelse se kapittel 3.2, 3.3 og 3.4. En oppsummering av metode valg er også beskrevet i kapittel 4.

3.1.1 Middelflom

I «Retningslinjer for flomberegninger» (Midttømme m. fl., 2011) anbefales at middelflommen estimeres ut fra observerte data hvis dataserien er mer enn 10 år. Hvis dataserien er mindre enn 10 år anbefales middelflommen å beregnes ut fra observerte data ved korrelasjon mot andre serier og/eller fra flomformler. Vi har i dette prosjektet ikke funnet grunnlag til å endre på disse anbefalingene.

3.1.2 Vekstkurve

Ved beregning av vekstkurve (Q_T/Q_M) anbefales følgende ut fra den observerte dataseriens lengde (Midttømme m. fl., 2011):

- > 50 år: Q_T/Q_M estimeres ved en to- eller treparameterfordeling (og/eller formelverk).
- 30-50 år: Q_T/Q_M estimeres ved en toparameterfordeling¹ og/eller formelverk
- < 30 år: Q_T/Q_M estimeres ved andre lengre serier i området og/eller formelverk (en stasjon som vurderes ikke sammenlignbar for å estimere middelflommen kan likevel brukes til å estimere vekstkurven).

Før endelig valg av vekstkurve må valget vurderes nøye ut fra ønsket gjentaksintervall. Ved beregning av høyere gjentaksintervall (gjentaksintervall > 50-100 år) må det vurderes om vekstkurven utledet fra observerte data er representativ og om den observerte dataserien er av tilstrekkelig lengde. Vekstkurven fra formelverket vurderes her generelt til å gi robuste og lite sensitive resultater med tanke på lokale variasjoner og anbefales derfor som regel for høyere gjentaksintervall (> 50-100 år).

3.1.3 Vurdering av representativitet/sammenlignbarhet

En optimalt sammenlignbar stasjon finnes stort sett ikke, og det er derfor viktig å vurdere de ulike feltegenskapene i forhold til hverandre. Det er en krevende oppgave å rangere og sammenligne feltegenskaper, men det er vanlig å legge spesiell vekt på feltegenskaper som feltareal, effektiv sjøprosent og middelvannføring. Det er imidlertid mange andre egenskaper som også kan ha stor betydning som for eksempel geografisk beliggenhet (eksempelvis høyde over havet og/eller nærhet til kysten/innlandet), og rask respons i feltet. Feltegenskaper som ofte gir rask respons er eksempelvis høy andel snaufjell og myr, tynt jordsmonn, lav effektiv sjøprosent og bratt helning i feltet. Utløpsforhold ved en eventuell sjø, (spesielt hvis sjøen ligger langt nede i feltet) og mye bre kan også være forhold som påvirker feltets flomforhold.

Hva som vurderes som en sammenlignbar stasjon er også avhengig av hva som skal estimeres. Ved for eksempel estimat av middelflommen stilles det høyere krav til sammenlignbarhet enn ved estimat av vekstkurven eller vurdering av verdier fra avrenningskartet (Q_{N61-90} , m³/s).

I forhold til middelflom:

¹ En treparameterfordeling tar større hensyn til «outliers» og risikerer derfor å gi ekstreme verdier ved bruk på korte tidsserier, det anbefales derfor å bruke en toparameterfordeling for korte tidsserier da denne ikke tar like stort hensyn til «outliers».

Formelverket for små felt benytter seg av nedbørfeltets middelvannføring Q_N (m^3/s) i perioden 1961-90 ($Q_N = A \cdot q_N / 1000$ der A er feltarealet) og effektiv sjøprosent A_{SE} . Dette tilsier at disse tre feltparametrene, A , q_N og A_{SE} , har stor betydning ved valg av representativ stasjon for estimering av middelflom.

I forhold til vekstkurve:

Formelverket for små felt benytter seg av den spesifikke middelvannføringen q_N ($l/s \cdot km^2$) og den effektive sjøprosenten A_{SE} . Dette tilsier at disse to feltparametrene, q_N og A_{SE} , har stor betydning ved valg av representativ stasjon for estimering av vekstkurven.

I forhold til å vurdere den spesifikke middelvannføringen q_N :

Det vurderes her som at feltets geografiske egenskaper, som for eksempel beliggenhet, høyde over havet, nærhet, eventuell side av en fjellkjede med mer, er av størst betydning ved sammenligning og vurdering av den spesifikke middelvannføringen q_N , sammen med dataseriens lengde og tidsperiode.

3.1.3.1 Feltegenskapers betydning på flomforløpet

Felt med liten selvregulering/demping gir raske og spisse flomforløp og felt med høy selvreguleringsevne gir en flom som varer mer over tid, men med en lavere flomtopp. Feltets selvreguleringsevne i kombinasjon med klimatiske forhold (mye/lite nedbør, temperatur/høyde over havet, regn/snø, bratthet mm) er viktige faktorer å vurdere når en ser på sammenlignbare felt. I teksten under presenteres en liten oppsummering av de vanligste feltegenskapene og hvordan de påvirker selvreguleringsevnen og flomforløpene til feltet samt noen mer klimarelaterte egenskaper. Listen er ikke uttømmende.

Areal: Økende areal gir generelt lavere spesifikke flommer grunnet at større areal gir større demping og sannsynligheten for samtidig og intensivt nedbør over hele feltet minker.

Effektiv sjøprosent: Høy effektiv sjøprosent gir høy selvreguleringsevne/demping og dermed lavere flomtopp.

Snaufjell/bartfjell/tynn jordsmonn: Høy andel av disse gir liten selvreguleringsevne som i sin tur gir raske og spisse flomforløp.

Myr: Høy andel myr bidrar til et raskere flomforløp. Dette gjelder først når myrområdene er mettet med vann. Inntil metning er nådd vil myrrealene virke dempende på vannføringen.

Skog/vegetasjon/dyrket mark: Høy andel av disse betyr generelt et tykkere lag med jord og bidrar dermed til flomdempingen i feltet. I tillegg medfører mye vegetasjon til økt transpirasjon.

Helning i feltet/feltgradient: En brattere helning i feltet gir en økt hastighet på vannet og dermed en økt avrenning.

Middelvannføring/nedbør: Et nedbørrikt område gir mye vann i feltet og jevnt over høyere flomtopper sammenlignet med et felt med mindre nedbør hvor øvrige feltparametere er tilnærmet like.

Høyde over havet: Nedbøren øker generelt med økende høyde over havet som bidrar til mer vann i feltet. Temperaturen minker med økende høyde over havet og bidrar til mer nedbør i form av snø vinterstid og dermed større smelteflommer. Smelteflommer opptrer også generelt seinere på året i høyereliggende felt sammenlignet med lavereliggende felt.

Nærhet til kysten/innlandet: Nærhet til kysten gir ofte mer utjevnete temperaturer over året og dermed mer vanlig med regn også om vinteren, som i sin tur bidrar til at det er vanlig med flommer hele året. Innlandet har generelt mer stabile vinterforhold som gir nedbør som snø om vinteren og da oftest felt med dominerende smelteflommer om våren/sommeren.

Utløpsforhold ved sjø: Utløpsforholdene ved sjø påvirker flomforløpet, spesielt hvis sjøen ligger langt nede i feltet. Et trangt utløp bidrar til større magasinering i sjøen (vannstandsøkning) og dermed til å dempe flommene i vassdraget nedenfor sjøen.

Bre: Mye bre i feltet bidrar til økt avrenning som følge smelting og i kombinasjon med nedbør kan det bli store flommer, spesielt på sommeren. I perioder hvor breen er fri for snø, bidrar isen også til en raskere avrenning.

3.2 Formelverk for små felt

Formelverket vurderes som et veldig godt redskap til å gi et raskt og enkelt første estimat på ønsket flomverdi i aktuelt vassdrag.

Ved beregning av **middelflom** med formelverket er den spesifikke middelvannføringen (q_N) og dermed middelvannføringen i m^3/s en stor kilde til usikkerhet. Det anbefales derfor at verdiene fra avrenningskartet verifiseres i forhold til tilgjengelig datagrunnlag fra stasjoner i regionen (se kap. 3.1.3) og korrigeres i forhold til en eventuell observert tendens i regionen. Hvis feltparametere er utenfor eller i ytterkant av gyldighetsintervallet til formelverket må resultatene vurderes ekstra nøye før de tas i bruk.

Vekstkurven som fås fra formelverket vurderes som robust og lite sensitiv for lokale variasjoner. Den anbefales derfor som et generelt førstevalg. Formelverket gir som regel en brattere vekstkurve enn det som er vanlig å få ved lokal frekvensanalyse. Dette skyldes at formelverket har brukt et mye større datasett sammenlignet med en frekvensanalyse på én tidsserie og sannsynligheten å få med virkelig ekstreme hendelser blir da mye større. Det må også påpekes at det naturligvis også er avhengig av hvilken fordeling som velges når en utfører lokal frekvensanalyse. Feltparametere som brukes ved estimering av vekstkurven er den spesifikke middelvannføringen og den effektive sjøprosenten. Ved bruk av formelverket for felt med feltegenskaper utenfor eller i ytterkant av gyldighetsintervallet anbefales det at man er ekstra oppmerksom på at resultatene virker rimelige.

3.3 Flommodulen i PQRUT

Der det finnes tilgjengelige IVF-kurver som oppfyller behovene (for eksempel varighet, gjentaksintervall mm.) kan flommodulen i PQRUT fortrinnsvis brukes som et tillegg til andre metoder. For dammer finns det et særtilfelle der kun nedbør-avløpsmetoder kan brukes. Dette er når Q_{PMF} (påregnelig maksimal flom) skal beregnes ved hjelp av PMP (påregnelig maksimal nedbør). For mer om dette se NVEs retningslinjer 4-2011 (Midttømme m. fl., 2011).

Flommodulen i PQRUT anbefales brukt til felt med en størrelse på 1-200 km² (Vassdragshåndboka, 2010). Ved kalibrering av ligningene, som normalt brukes til å estimere de tre PQRUT parameterne K1, K2 og T, ble et areal spenn på 0,4-792 km² brukt (Andersen m. fl., 1983).

3.3.1 Varighet og konsentrasjonstid

Nedbørens totale varighet bør velges ut fra den varighet som gir størst tilløpsflom ved et gitt gjentakintervall på nedbøren. Nedbørforløpets varighet ble i dette prosjektet satt lik konsentrasjonstiden. Ut fra resultater presentert i Stenius m. fl. (2015) anbefales varigheten å settes til minst 24 timer. For større felt (> 10-20 km²) og/eller felt med høy selvreguleringssevne må varigheten vurderes nøye ut fra hvilken varighet som gir den høyeste flomtoppen ved et gitt gjentakintervall på nedbøren. Hvis varigheten vurderes å være lenger enn 24 timer er det ikke mulig å benytte seg av regionale IVF-kurver direkte. For mer informasjon om IVF-kurver se kapittel 2.2.2 og 3.3.3.

3.3.2 Tidskritt

I dette prosjektet er det konsekvent brukt et tidskritt på en time. Det anbefales å bruke tidskritt en time for felt fra ca. 2 km² og oppover. For meget små felt og/eller felt med veldig rask responstid er det ikke sikkert at tidskritt på en time får med seg den reelle kulminasjonsverdien. Det er da anbefalt å bruke et tidskritt på finere tidsoppløsning enn time om mulig.

3.3.3 Nedbør

For anbefaling av dimensjonerende nedbørverdi se kapittel 3.5.

Når dimensjonerende nedbørverdi er valgt, må nedbørforløpet konstrueres. Det er ikke i NIFS-prosjektet funnet grunn til å endre de anbefalinger som presenteres i Midttømme m. fl. (2011). Følgende tekst er dermed i stor grad basert på anbefalinger derfra. Standard tilnærming for konstruksjon av nedbørforløp er at de beregnede nedbørverdier for de forskjellige varigheter for aktuell returperiode kombineres til et forløp. Dette er i utgangspunktet urealistisk ettersom, eksempelvis, en timesnedbør med returperiode på 200 år svært sjelden vil inntreffe i samme nedbørepisode som døgnsnedbør med returperiode på 200 år. Men, i mangel av andre gode metoder er dette blitt en normal tilnærming. Det anbefales videre at nedbørforløpet legges symmetrisk om den mest intense nedbørtimen (eventuelt annen tidsoppløsning dersom det benyttes andre tidskritt). Dersom nedbørforløpet har en varighet på mer enn to døgn anbefales det at den maksimale nedbørintensiteten kommer etter ca. en tredjedel av varigheten.

3.3.4 Feltets initialtilstand

I følge Midttømme m. fl. (2011) vil det normalt være riktig å bruke mettet felt som initialtilstand ved flomsimulering for små felt. I dette prosjektet er det valgt å sette feltets initialtilstand til full metning for alle beregningene. Det anbefales normalt at full metning brukes som initialtilstand ved flomsimuleringer hvis en ikke har spesifikke hendelser/observasjoner som modellen skal/kan kalibreres mot.

3.4 Rasjonale formel

Hvis feltarealet er mindre enn ca. 5 km²⁽²⁾ kan Rasjonale formelen med fordel brukes for å få et raskt overslag og/eller som tillegg til andre metoder. I dette prosjektet er Rasjonale formelen brukt for felt under 15 km², det ble til sammen 49 felt. 19 felt hadde en feltareal på under 5 km², 15 felt var mellom 5 og 10 km² og 15 felt hadde et areal på 10-15 km². Resultatene viste ingen tydelige tendenser i forhold til feltstørrelse og hvor godt resultatene fra Rasjonale formelen passet sammen med resultatene fra de andre metodene. Det kan dermed, ut fra dette prosjektet, ikke gis noen nye anbefalinger i forhold til bruk av Rasjonale formelen i forhold til feltstørrelse.

3.4.1 Avrenningsfaktoren C

Resultatene fra Rasjonale formelverket er svært følsom for valg av C-verdi³ og valg av nedbørintensitet/IVF-kurve. Ut fra resultatene presentert i Stenius m. fl. (2015) anbefales det å følge retningslinjene fra SVV (2014) for bestemmelse av C-verdien.

3.4.2 Nedbør

For valg av dimensjonerende nedbørverdi se anbefalingene som gis i kapittel 3.5.

3.5 Dimensjonerende nedbørverdi

Når nedbørdata skal brukes i hydrologiske beregninger er det viktig å gjøre en grundig vurdering av den verdien som skal benyttes. Resultatene fra analysene utført av Meteorologisk Institutt i NIFS-prosjektet (Førland m. fl., 2015) gir et godt grunnlag for å velge dimensjonerende nedbør for varigheter opp mot 24 timer og returperioder på opptil 200 år. For varigheter over 1 døgn og returperioder over 200 år må estimerer bestilles fra Meteorologisk Institutt eller en annen meteorologisk institusjon som kan dokumentere en faglig god beregningsmetodikk.

Hvis det finnes en nedbørstasjon med lang tidsserie og gode data i nærheten og det ikke forventes store lokale variasjoner i nedbørforholdene i området, kan lokal IVF-statistikk fra en enkelstasjon med fordel anvendes. I områder hvor det er store nedbørgradienter og/eller det ikke finnes gode målestasjoner i nærheten, må dimensjonerende nedbørverdier bestemmes ut fra informasjon i form av kart og regionale analyser som presenteres i «Dimensjonerende korttidsnedbør» (Førland m. fl., 2015).

² I følge Statens vegvesen sin håndbok (SVV, 2014) er Rasjonale formelen anbefalt til felt mindre enn 2-5 km² mens ifølge Lindholm (2008) og Vassdragshåndboka (2010) anbefales formelen til felt mindre enn 0,2-0,5 km².

³ Hvor C er en dimensjonsløs avrenningsfaktor som sier hvor mye av den totale nedbørmengden i et nedbørfelt som renner av som overflatevann. Avrenningsfaktoren 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 middelvei for hele feltet, men for sammensatte felt kan man beregne avrenningsfaktor for delfelt og beregne en midlet avrenningsfaktor for hele feltet.

4 Oppsummering

Ut fra resultater presentert i Stenius m. fl. (2015) anbefales følgende tilnærming for flomberegninger i Norge for små (< ca. 50 km²) uregulerte felt:

1. **Middelflom** (Q_M) bør fortrinnsvis beregnes ved hjelp av observerte dataserier. Er serien kort (< 10 år) anbefales det at perioden sammenlignes med lengre tidsserier i området for å undersøke «representativiteten» med tanke på tørre/våte år og eventuelt korrigerer middelflommen ut fra dette. Det anbefales i tillegg at middelflommen sammenlignes med flere ulike stasjoner i området (selv om de ikke er direkte representative) og med andre metoder som formelverk og/eller nedbør-avløps metoder. En sammenligning av middelflom fra flere ulike metoder/sammenligningsstasjoner gir en indikasjon på variasjonen av de spesifikke middelflomverdiene i området og en «pekepinn» på usikkerheten i estimatene.
2. **Vekstkurven** fra formelverket vurderes som robust og lite sensitiv for lokale variasjoner og anbefales derfor som regel som første valg. Hvis det finnes lange tidsserier med god kvalitet (50-100 år eller mer) som vurderes som representative, sammenlign da gjerne vekstkurve fra formelverket med vekstkurve fra data og vurder hva som virker mest sannsynlig. Det kan også lages en kombinasjon av vekstkurve fra formelverk og data.
3. **Sammenlign med andre metoder:** Flomverdiene kan i tillegg sammenlignes med andre metoder så som flommodulen i PQRUT og/eller Rasjonale formelen. Anbefalinger med tanke på feltstørrelser for de to nevnte metodene se kapittel 3.3 og 3.4.

Områder med **dårlige eller ingen data** anbefales formelverket til å få et raskt og enkelt estimat av middelflommen og vekstkurven.

For endelig valg av **middelflommen** anbefales følgende:

1. **Vurder den spesifikke middelvannføringen, (q_N),** for eksempel i forhold til middelvannføringen estimert fra stasjoner i regionen, selv om de ikke er direkte sammenlignbare. Middelvannføringen kan da eventuelt justeres ut fra disse resultatene.
2. **Sammenlign middelflommen** fra formelverket i forhold til middelflom ved målestasjoner selv om ikke dataene er av bra kvalitet og/eller er representative. Dette for å undersøke om middelflommen fra formelverket gir et noenlunde godt estimat av middelflommen generelt i regionen. Dersom formelverket gir en tydelig tendens av over- eller underestimering av middelflommen i området er dette en indikasjon på at middelflommen for det aktuelle analysefeltet med fordel kan justeres.

For endelig valg av **vekstkurve** anbefales følgende:

1. **Stasjoner med dårlig data og/eller korte tidsserier:** bruk vekstkurven fra formelverket, men sammenlign gjerne med eventuelle lange serier i området, selv om de ikke vurderes som representative ved estimering av middelflom kan de brukes ved sammenligning/vurdering/estimering av vekstkurven (en målestasjons

representativitet vurderes «strengere» ved beregning av middelflom sammenlignet med beregning av vekstkurven).

2. **Sammenlign med andre metoder:** Sammenlign ønsket gjentaksintervall med for eksempel estimat fra flommodulen i PQRUT og/eller, hvis feltet er veldig lite, med estimat fra Rasjonale formelen.

Valg av endelig estimat kan gjøres ut fra mange ulike kriterier. Det er ofte ikke mulig å vurdere hvilken metode som gir den minste usikkerheten. Flomberegner må ut fra faglig skjønn og en samlet vurdering av alle estimatene velge det estimatet man mener er mest trolig. Dette estimatet kan også være en vektet middelvei av to eller flere resultat fra de ulike metodene. Eventuelle erfaringstall fra regionen kan også brukes til å vurdere de endelige estimatene.

Referanser

- Andersen, J.H., Hjukse, T., Roald, L., Sælthun, N.R. (1982): Hydrologisk modell for flomberegninger. NVE Rapport 2-1983.
- Etatsprogrammet "NATURFARE – Infrastruktur, Flom og Skred" (NIFS).
<http://www.naturfare.no>
- Førland, E., Mamen, J., Grinde, L., Dyrddal, A. V., Myrabø, S (2015): Dimensjonerende korttidsnedbør. NVE Rapport XX-2015_(rapporten er under utarbeidelse).
- Førland, E., Mamen, J., Ødemark, K., Heiberg, H., Myrabø, S. (2014): Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet. NVE Rapport 3-2014.
- Førland, E., Mamen, J., Ødemark, K., Myrabø, S. (2014): Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge. NVE Rapport 42-2014.
- Glad, P.A., Reitan, T., Stenius, S. (2015): Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt. NVE Rapport 13-2015.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby L. (2008): Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport 162-2008.
- Midttømme, G. H., Pettersson, L. E., Holmqvist, E., Nøtsund, Ø., Hisdal, H., Siverstgård, R. (2011): Retningslinjer for flomberegninger. NVE Retningslinjer 4-2011.
- Stenius, S. (2013): Vannføringsstasjoner i Norge med felt mindre enn 50km². NVE Rapport 66-2013.
- Stenius, S., Glad, P.A., Wilson, D. (2014): Karakterisering av flomregimer. NVE Rapport 35-2014.
- Stenius, S., Glad, P.A., Reitan T., Wang T.C., Tvedalen A.K., Reinemo P., Amland S. (2015): Sammenligning av metoder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE Rapport 86-2015.
- Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og Roald, L. A. (1997): Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE Rapport 14-1997.
- SVV: Statens vegvesen 2014, Håndbok N200 Vegbygging, 109-202. Kapittel 4 – Grøfter, kummer og rør. Vegdirektoratet 2014. www.vegvesen.no/handboker
- Vassdragshåndboka (2010). Redigert av: Fergus, T., Hoseth, K. A., og Sæterbø, E. Tapir Akademisk Forlag.
- Ødemark, K., Førland, E., Mamen, J., Elo, C.A., Durrdal, A.V., Myrabø, S. (2012): Ekstrem korttidsnedbør på Østlandet fra pluviometer og radar data. NVE Rapport 78-2012.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

