



Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt

7
2015

V E I L E D E R



Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Veileder nr 7-2015

Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Seija Stenius, Per Alve Glad

Forfattere: Seija Stenius, Per Alve Glad, Thea Karoline Wang, Thomas Væringstad

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 100

Forsidefoto: Flommer i små vassdrag. Foto: NVE.

ISBN

ISSN 1501-0678

Sammendrag: Veilederen er en generell veileder for flomberegninger i små uregulerte felt og beskriver anbefalte metoder og tilgjengelig datagrunnlag. Metodene er flomfrekvensanalyser, formelverk, flommodellen i PQRUT og Rasjonale formel. I tillegg beskrives metode for å ta hensyn til ventede klimaendringer. Målgruppen er konsulenter og offentlige etater med relevant hydrologisk fagkompetanse. Metodene omfatter ikke urbaniserte eller regulerte felt, men ved lav urbaniserings-/reguleringsgrad kan metodene beskrevet i denne veilederen benyttes.

Emneord: Veileder, flomberegninger, små felt, dimensjonerende flom, frekvensanalyser, formelverk, 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

Desember 2015

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Innhold

Forord	4
1 Innledning	5
1.1 Definisjoner	5
2 Datagrunnlag	6
2.1 Feltparametere	6
2.2 Hydrologiske data	7
2.2.1 Observerte data.....	8
2.2.1.1 Data med fin tidsoppløsning	8
2.2.1.2 Døgndata.....	9
2.2.1.3 Kvalitetskontroll	9
2.3 Meteorologi	11
2.3.1 Observerte data.....	11
2.3.2 Intensitet-Varighet-Frekvens (IVF kurver)	14
2.3.3 Regionale Intensitet-Varighet-Frekvens (IVF) verdier	18
2.3.4 Anbefalt fremgangsmåte	21
2.3.5 Pågående arbeid	22
2.4 Snøsmelting/Snødata.....	22
3 Teori.....	23
3.1 Gjentakintervall/Returperiode	23
3.2 Flomregime	23
3.3 Konsentrasjonstid.....	23
3.4 Tidsskritt og varighet for flomforløpet.....	24
3.5 Initialtilstand	24
3.6 Vurdering av representativitet og sammenlignbarhet.....	24
3.6.1.1 Feltegenskapers betydning på flomforløpet	25
4 Beregningsforutsetninger.....	26
4.1 Gjentakintervall for dimensjonering	26
4.1.1 Arealplanlegging.....	26
4.1.1.1 Sikkerhetsklasser for flom	27
4.1.2 Vegbygging: bruer, kulverter og stikkrenner (SVV)	27
4.1.3 Skogsveger, kulverter og stikkrenner	27
4.1.4 Dammer og vassdragsanlegg	27
4.2 Regulerte vassdrag	28
4.3 Urbane felt.....	29
4.4 Grensebetingelser.....	29
5 Metoder.....	29
5.1 Flomfrekvensanalyse på observerte flomdata.....	30
5.1.1 Fordelingsfunksjoner	31
5.1.2 Usikkerhet ved flomfrekvensanalyser.....	31
5.2 Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt	32
5.2.1 Usikkerhet ved bruk av formelverket	32
5.2.1.1 Formelverkets gyldighetsintervaller	33

5.2.1.2	Vannføringskurve- og samplingsusikkerhet.....	33
5.3	Flommodellen i PQRUT	34
5.3.1	Nedbørforløp	35
5.3.2	Bre- og snøsmelting samt flomregime.....	36
5.3.3	Usikkerhet	36
5.4	Rasjonale formel	36
5.4.1	Usikkerhet	38
6	Valg av beregningsmetode	38
6.1	Analyser av observasjoner i vassdrag	39
6.1.1	Middelflom	39
6.1.2	Vekstkurve.....	39
6.1.3	Forhold mellom kulminasjonsverdier og døgnmiddelverdier	40
6.2	Formelverk for små felt	40
6.3	Flommodulen i PQRUT	41
6.3.1	Varighet og konsentrasjonstid	41
6.3.2	Tidsskritt.....	41
6.3.3	Intensitet-Varighet-Frekvenskurver	41
6.3.4	Feltets initialtilstand	41
6.4	Rasjonale formel	41
6.4.1	Avrenningsfaktoren C.....	42
6.4.2	Intensitet-Varighet-Frekvenskurver	42
6.5	Mikrofelt.....	42
6.6	Klimaendringer	43
6.6.1	Flom i små vassdrag	43
6.6.2	Stormflo og havnivå.....	43
6.7	Oppsummering - valg av beregningsmetode	43
7	Evaluerings av flomberegninger	45
7.1	Sammenligning med andre beregninger og observasjoner.....	45
7.2	Vurdering av størrelsen på usikkerheten.....	45
7.3	Følsomhetsanalyse	46
8	Referanser	47
Vedlegg 1 – Dataprogrammer og databaser ved Hydrologisk		
	avdeling	49
Vedlegg 2 – Kontroll av hydrologiske data.....		51
Vedlegg 3 – Benyttede parameterer		52
Vedlegg 4 – Arbeidsgang for flomberegning.....		54
Vedlegg 5 – Nedbør		55
Vedlegg 6 – Regneeksempler		70
	Skornetten	70
	Flostrand.....	78
	Lundebekken	85
Vedlegg 7 – Kart over målestasjoner		93
Vedlegg 8 – «Observerte» flomverdier.....		94

Vedlegg 9 – Variasjon av flomverdier i ulike landsdeler i Norge ..	95
Vedlegg 10 – Middelflom fra 170 målestasjoner.....	96
Vedlegg 11 – Korreksjon av PQRUT parameterne K1, K2 og T...	105

Forord

NVE har tidligere gitt ut retningslinjer for flomberegninger som utdyper bestemmelser gitt i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften) § 5-7 og beskriver aktuelle forutsetninger og metoder for å gjennomføre flomberegninger for dammer i tråd med damsikkerhetsforskriftens krav. Den siste versjonen ble utgitt i 2011, Retningslinjer for flomberegninger (Midttømme m.fl., 2011). Disse retningslinjene har fokus på alle feltstørrelser og bruker blant annet de regionale flomformlene (Sælthun m. fl., 1997) som gjelder for felt $>20 \text{ km}^2$, men som bør brukes med forsiktighet for felt $< 100 \text{ km}^2$ (Midttømme m.fl., 2011). De regionale flomformlene har, til tross for at de ikke er gyldig for felt $<20 \text{ km}^2$, blitt brukt ved flomberegninger for små felt på grunn av at det ikke har eksistert formelverk for små felt.

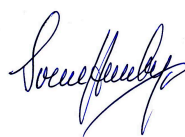
Det har lenge vært et behov for og en etterspørsel etter flomformler og retningslinjer med fokus på flomberegninger i små felt. I etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)" (<http://www.naturfare.no>), ble det i delprosjektet 5.1, Flom- og dimensjoneringsberegninger i små felt, satt fokus på dette. Etatsprogrammet var et samarbeidsprosjekt mellom NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen. Delprosjektet 5.1 ble oppdelt i flere underliggende aktiviteter der et av hovedproduktene var et nytt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt (Glad m. fl., 2015) og en veileder for flomberegninger i små felt. For denne veilederen ligger mye av resultatene fra de underliggende aktivitetene og rapportene fra delprosjekt 5.1 til grunn. Her kan spesielt nevnes «Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt nedbørfelt», NVE Rapport 8-2015 (Glad m. fl., 2015), og «Sammenligning av metoder for flomberegninger i små uregulerte felt», NVE Rapport 86-2015 (Stenius m. fl., 2015).

Små felt i denne veilederen er felt opp til ca. 50 km^2 .

Oslo, desember 2015



avdelingsdirektør



seksjonssjef

1 Innledning

Denne veilederen er en generell veileder for flomberegninger i små, uregulerte felt. Veilederen gir en beskrivelse av anbefalte metoder og tilgjengelig datagrunnlag. I tillegg beskrives metode for å ta hensyn til ventede endringer som følge av klimaendringer.

Målsetningen med denne veilederen er å få mer entydige flom- og dimensjoneringsberegninger for små nedbørfelt. Målgruppen er konsulenter og offentlige etater med relevant hydrologisk fagkompetanse.

Små felt er her definert som felt opp til ca. 50 km².

Denne veilederen er ment benyttet for uregulerte (naturlige) nedbørfelt. I nedbørfelt med reguleringer, som overføringer eller magasiner, vil metodene beskrevet her ikke nødvendigvis være gyldige. Ut fra reguleringens art, kan det være nødvendig med vurderinger av overføringskapasiteter, reguleringsforutsetninger og magasinenes evne til å dempe flommene. For flomberegninger for dammer, flomløp og andre vassdragsanlegg, er det utarbeidet egne retningslinjer «Retningslinjer for flomberegninger, Retningslinjer nr. 4-2011» (Midttømme m. fl., 2011) som beskriver metodikk, utførelse og krav til en slik flomberegning.

Metodene beskrevet her omfatter ikke urbaniserte felt, men ved lav urbaniseringsgrad, der det vurderes å ha ingen eller liten effekt på flommene, kan metodene beskrevet i denne veilederen benyttes.

1.1 Definisjoner

Døgnmiddelverdi - data med tidsoppløsning på ett døgn (midlet over et kalender døgn).

Findata er data med finere tidsoppløsning enn døgn.

Flomregime beskriver hvilke prosesser som forårsaker de store flommene i et gitt vassdrag. Dette er i all hovedsak regn, snøsmelting eller en kombinasjonen av disse.

Gjentaksintervall/returperiode/årlige nominelle sannsynlighet er et mål for hvor mange år det i gjennomsnitt er mellom hver gang en bestemt flomvannføring/hendelse overskrides.

Hypsografisk kurve viser hvor stor del av feltet som ligger mellom et gitt nivå og det laveste punkt i feltet.

Intensitet – varighet – frekvens (IVF) kurver gir et estimat av dimensjonerende verdier for korttidsnedbør for ulike varigheter og returperioder.

Knekkpunktverdier er verdier som ikke har et fastlagt tidsskritt, men hvor tidsskrittet er av varierende lengde.

Konsentrasjonstiden til et felt er den tid det tar for vannet å bevege seg gjennom dreneringssystemet fra de fjerneste delene av feltet til utløpet.

Kulminasjonsverdi/momentanflom den høyeste faktiske verdien av en flomhendelse, dvs. verdien der flommen kulminerer.

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

Nedbør- avløpsmodeller benytter et fastlagt nedbørsforløp og evt. snøsmelteforløp og omregner dette til vannføring (flom) i et gitt felt.

P_T er nedbør med gjentaksintervall T år.

Påregnelig maksimalt avløp er det teoretisk største avløpet som er fysisk mulig for et gitt nedbørfelt til en gitt tid på året.

Små felt er i denne veilederen definert som nedbørfelt under ca. 50 km²

q er spesifikk vannføring uttrykt i l/s·km².

Q er absolutt vannføring uttrykt i m³/s.

Q_T er flom med gjentakintervall T år. Det betyr at det er sannsynlighet på 1/T for at flommen skal inntreffe et hvilket som helst år.

Vannføringskurve er sammenhengen mellom observert vannstand og vannføring (Q).

Vekstkurven Q_T/Q_M er forholdet mellom middelflom og en flom med et vilkårlig gjentakintervall T.

2 Datagrunnlag

2.1 Feltparametere

En feltparameter angir en målestørrelse av et element i et nedbørfelt. Sentrale feltparametere kan bestemmes ut fra et godt kartgrunnlag, der særlig nedbørfeltets areal vil være en viktig parameter for alle metoder innen flomberegninger. Feltparametere hentes/beregnes fra/i NVEs karttjeneste nevin.nve.no eller bestilles fra en kartkonsulent. Spørsmål gjeldende NVEs karttjeneste kan rettes til NVEs seksjon for geoinformasjon ved hydrologisk avdeling.

Relevante feltparametere er:

A:	nedbørfeltets areal	[km ²]
q _N :	middelvannføring	[l/s·km ²]
P _N :	midlere årsnedbør	[mm]
A _{SE} :	effektiv sjøprosent (S _{eff})	[%]
A _{SF} :	snaufjellprosent	[%]
F _L :	feltlengde	[km]
E _L :	elvelengde	[km]
E _G :	elvegradient	[m/km]
H _L :	relieff-forhold	[m/km]

Feltareal (A) er nedbørfeltets areal i km². Arealet kan måles ved hjelp av ulike kart/GIS-verktøy eller med NVEs karttjeneste nevin.nve.no. 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.

Middelvannføring, midlere spesifikt årsavløp, eller normalavløp, (q_N) i l/s·km², 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 (i dag 1961-90).

Avrenningskartet finnes digitalt som en del av NVEs karttjeneste på nevin.nve.no (Beldring m. fl. 2002).

Eventuelt kan man benytte den lengste tilgjengelige dataserien man vurderer kan være representativ for feltet.

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 med over gjennomsnittlig årsnedbør fra Meteorologisk Institutt. Parameteren kan også hentes ut på nevina.nve.no.

Effektiv sjøprosent (A_{SE} eller S_{eff}) er definert som

$$100 \cdot \Sigma(A_i \cdot a_i) / A^2$$

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 A_{SE} -verdien sammenlignet små sjøer og/eller sjøer langt oppe i feltet. Parameteren kan også beregnes på nevina.nve.no.

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 på nevina.nve.no.

Feltlengde eller feltaksens lengde (F_L) i km, defineres som en rett linje lagt fra feltets utløp/målested til det fjerneste punktet på vannskillet. Den måles med samme kartgrunnlag som feltarealet. Parameteren kan beregnes på nevina.nve.no.

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 på nevina.nve.no.

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 på nevina.nve.no.

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 (Midttømme m. fl., 2011).

2.2 Hydrologiske data

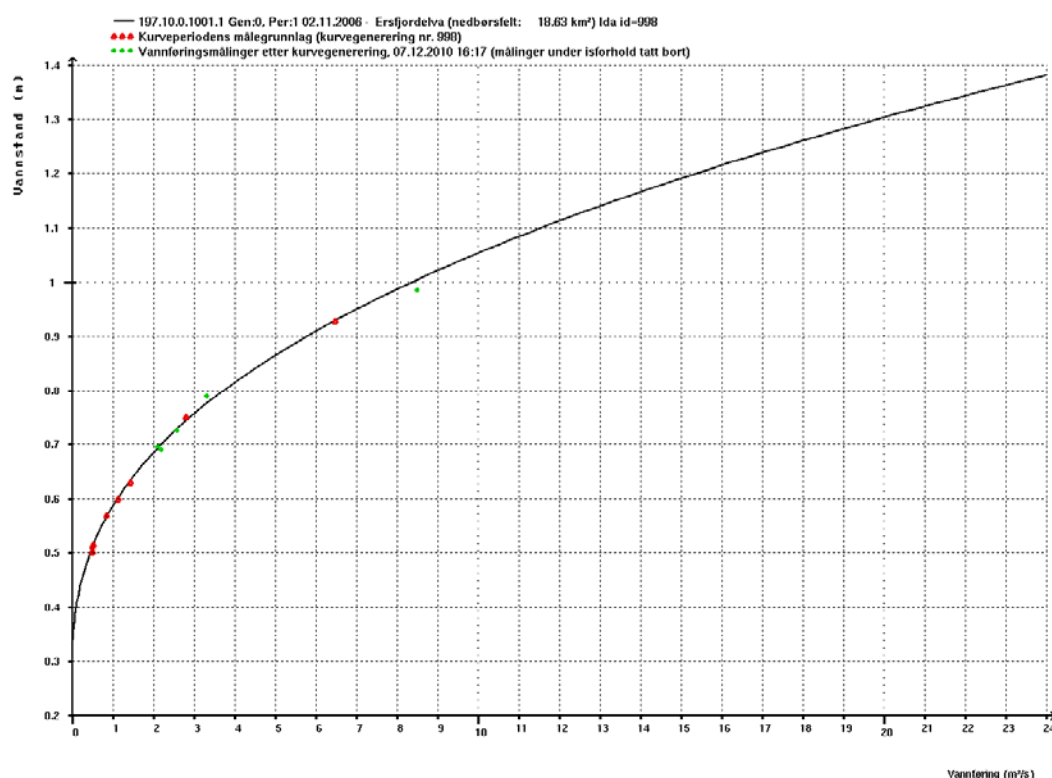
Det hydrologiske stasjonsnett i Norge og innholdet i NVEs hydrologiske database er beskrevet i flere rapporter som er tilgjengelige gjennom NVE sine nettsider (www.nve.no). Deriblant kan nevnes «Vannføringsstasjoner i Norge med felt mindre enn 50 km²» (Stenius, 2013) og «Aktive vannføringsstasjoner i Norge» (Pettersson, 2014).

En kortfattet beskrivelse av dataprogram og databaser ved Hydrologisk avdeling, NVE, er samlet i vedlegg 0. Mer inngående beskrivelse kan fås fra Hydrologisk avdeling, NVE.

Det skal primært benyttes data fra stasjoner i uregulerte felt eller fra uregulerte perioder da dette vil representere det naturlige avløpet fra feltet.

2.2.1 Observerte data

Ved målestasjonene foretas det målinger av vannstander som omregnes via en vannføringskurve til vannføringsverdier (m^3/s). Vannføringskurven er basert på et antall simultane observasjoner/målinger av vannstander og vannføringer i elven. Eksempel på en vannføringskurve er vist i Figur 1. Nye vannføringsmålinger for en stasjon kan føre til endret kurve, og historiske vannstandsmålinger kan derfor gi endret vannføring ved nye målinger. Ved nye flomberegninger bør det kontrolleres at vannføringskurven ikke er endret dersom det benyttes resultater fra tidligere analyser.



Figur 1. Målt vannstand og vannføring (røde punkter) og vannføringskurve (sort kurve) som baserer seg på disse målingene. Grønne punkter er vannføringsmålinger som er utført etter at vannføringskurven ble generert.

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

2.2.1.1 Data med fin tidsoppløsning

Data med fin tidsoppløsning er alle data med finere tidsoppløsning enn døgn og er tilgjengelig på arkivet HYKVAL (for mer detaljer se vedlegg 0). Nyere data lagres stort sett med timesoppløsning, men avvik forekommer. Eldre data med fin tidsoppløsning er gjerne digitaliserte verdier fra limnigrafskjemaer og lagres som knekkpunktverdier.

Data som lagres på HYKVAL arkivet er primærkontrollerte data. Dette innebærer at data er kontrollert og korrigert for opplagte feilmålinger og registreringer, men ikke komplettert for manglende data eller korrigert for isoppstuvning om vinteren.

Stasjoner som har hatt limnigrafskjema, og hvor disse er blitt digitalisert, gir det nærmeste vi kan komme en kulminasjonsverdi på flom. Ved digitalisering registreres data med ulik tidsoppløsning, avhengig av om det er store eller små endringer i vannstanden/vannføringen (dette blir lagret med tidsoppløsning

«knekkpunktverdier» i Hydra II). Ved de fleste stasjoner registreres data på en oppløsning finere enn døgn, men sjelden med oppløsning finere enn en time. Dette er på grunn av for eksempel begrenset batterikapasitet. Det blir imidlertid 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.

2.2.1.2 Døgndata

Data med tidsoppløsning et døgn er tilgjengelig på arkivet HYDAG (for mer detaljer se vedlegg 0). Dette arkivet inneholder døgnmidler basert på kalenderdøgn. Data lagret på HYDAG er sekundærkontrollert (se også vedlegg 0) hvilket innebærer at data er korrigert for eventuell isoppstuvning om vinteren og komplettert ved eventuell datamangel.

2.2.1.3 Kvalitetskontroll

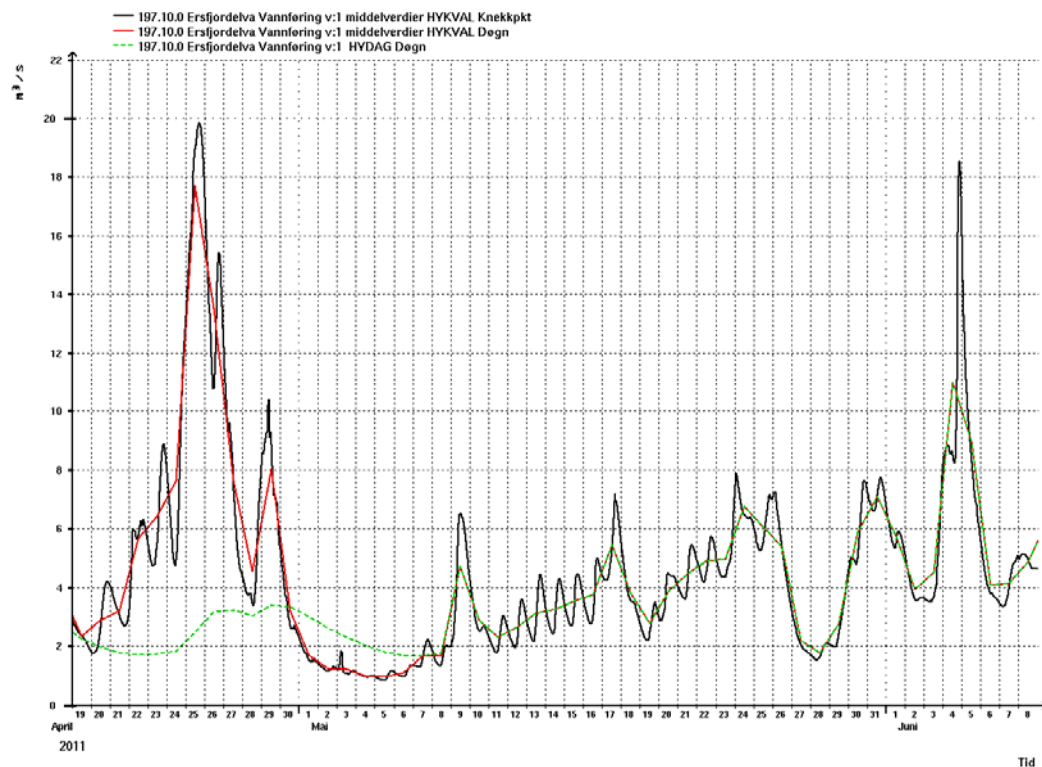
Alle hydrologiske data som benyttes i en flomberegning skal i utgangspunktet kontrolleres. Dersom datakontrollen er særlig tidkrevende og praktisk vanskelig å gjennomføre, er det tilstrekkelig å kontrollere data kun fra de vannføringsstasjonene man regner som mest vesentlige for den aktuelle beregningen.

Hvis analyser skal gjøres på findata er kvalitetskontrollen ekstra viktig. Dette siden findata (data på arkivet Hykval) kun primærkontrolleres, hvilket innebærer at data blant annet ikke korrigeres for eventuell isoppstuvning. Flommene som skal brukes i analysen bør kontrolleres mot sekundærkontrollerte data på Hydag arkivet for å verifisere at flommene er vurdert som reelle. Se eksempel i Figur 2.

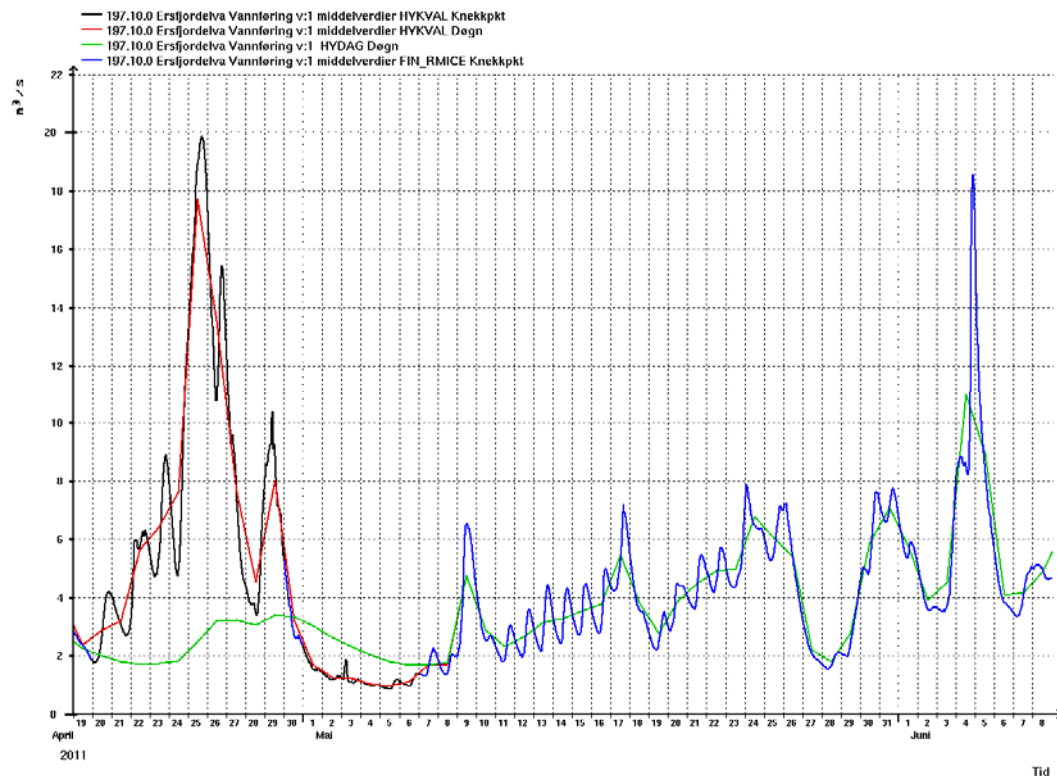
I programmet FINUT finnes det også et arkiv som heter «Findata uten isreduerte dager» og «Virtuelt isreduerte data», disse kan være nyttige hjelpemidler ved analyser av findata. Arkivet «Findata uten isreduerte dager» fjerner perioder der avviket mellom døgnverdier på FINUT og DAGUT avviker over en bestemt verdi, se Figur 3. Perioder med manglende data i «Findata uten isreduerte dager» 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. På arkivet «Virtuelt isreduerte data» justeres findata ned slik at døgnmiddelverdien stemmer med de isreduerte døgnverdiene på HYDAG, men variasjonen over døgnet beholdes, se Figur 4. Dette arkivet vurderes som et veldig nyttig verktøy ved frekvensanalyser på findata, særlig på tidsserier med mye isoppstuvning.

Kvaliteten på vannføringskurven vil være avgjørende for resultatet, og bør alltid kontrolleres for de aktuelle vannføringsstasjonene. I NVEs Hydra II kan programmene DAGUT og FINUT benyttes for å hente måleserier og benytte funksjonen «Kurvekvalitet», som gir opplysninger om kvaliteten på vannføringskurven. I programmet VFTAB kan informasjon og figurer over vannføringskurver hentes. VFTAB kan også gi oversikt over vannføringsmålinger som ligger til grunn for aktuell kurve (se eksempel i Figur 1). Dersom flomvannføringen hvert år faller langt ut på den ekstrapolerte delen av kurven (langt over den høyeste målte vannføringen), bør dataene vurderes nøye og/eller tillegges mindre vekt. Viser hydrologiske måleserier ekstreme flomverdier bør disse kontrolleres for mulige feilregistreringer.

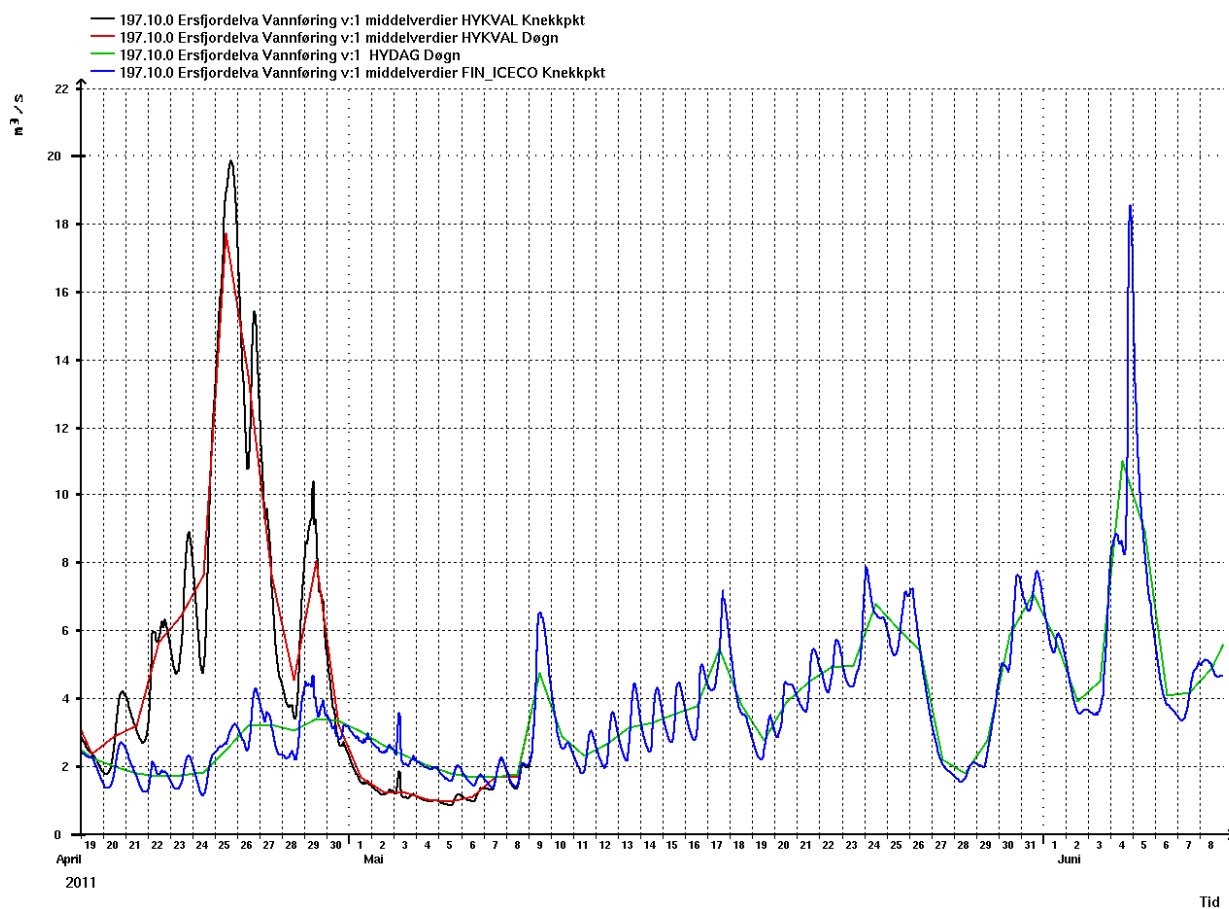
Spørsmål om datakvalitet kan rettes til Hydrologisk avdeling, NVE. Det finnes også kortfattet informasjon om aktuelle dataprogrammer og databaser i vedlegg 0 og informasjon om kvalitetskontroll av hydrologiske data utført av NVE i vedlegg 0.



Figur 2. Eksempel på data fra findata-arkivet HYKVAL med tidsoppløsning knekkpunkt (sort-kurve) og døgn (rød-kurve) samt data fra døgnarkivet HYDAG (grønn stiptet kurve). Flommen i april er vurdert som «ikke reell vannstand, isoppstuvning» og dermed korrigert i sekundærkontrollen og lagret som en mye lavere vannføring/vannstand på HYDAG sammenlignet med det som er lagret på HYKVAL. I dette eksemplet er flommen i juni vurdert som «den største observerte flomtoppen» og ikke den i april, hvilket en lett kunne tro hvis en kun ser på data fra HYKVAL.



Figur 3. Eksempel som i figur 2, men med data fra arkivet «Findata uten isreduerte dager» i tillegg (blå strek). Merk at «Findata uten isreduerte dager» også kan ta bort perioder der avviket ikke nødvendigvis skyldes isreduksjon, men andre typer korrigeringer, se eksempel her første uken i mai.



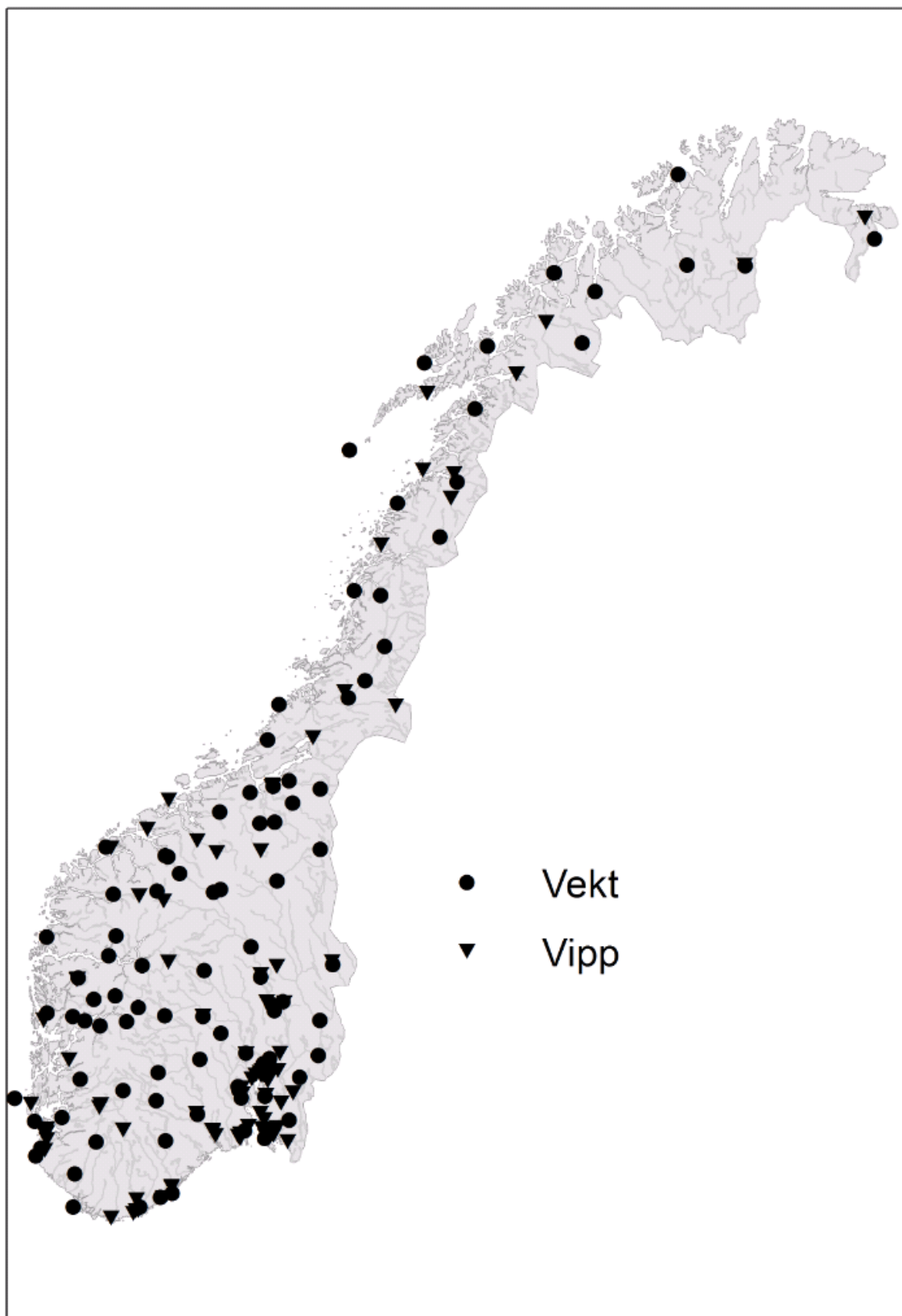
Figur 4. Eksempel som i figur 2, men med data fra arkivet «Virtuelt isredusert findata» i tillegg (blå strek).

2.3 Meteorologi

En grunnleggende forståelse av meteorologi og tilgang på meteorologiske data er helt avgjørende for å utføre hydrologiske beregninger ved hjelp av nedbør-avløps metoder og empiriske modeller som rasjonale formel. I dette kapitlet beskrives hva som er tilgjengelig av meteorologiske grunnlagsdata og ekstremverdiestimer, hvordan denne typen data og estimer kan hentes ut fra Meteorologisk Institutt sine hjemmesider, samt anbefalinger for hvordan de bør brukes i flomberegninger for små uregulerte nedbørfelt i Norge. I tillegg presenteres kort noe av det arbeidet som pågår for ytterligere forbedring av meteorologisk dimensjoneringsgrunnlag i tiden som kommer. Teksten og figurene i dette kapitlet er i stor grad basert på og hentet fra Meteorologisk Institutt sin rapport «Dimensjonerende korttidsnedbør» (Førland m. fl., 2015) tilknyttet NIFS-prosjektet. For utfyllende beskrivelse av arbeidet som er utført i prosjektet henvises leseren til den rapporten.

2.3.1 Observerte data

Nedbør har i Norge tradisjonelt blitt målt en eller to ganger per døgn, men for mange formål (eksempelvis flomberegninger) er det nødvendig med målinger med finere tidsskritt. Det har siden slutten av 1960-tallet blitt installert mange målestasjoner (vippepluviometer og vektpluviometer) som måler nedbør på tidsoppløsning ned mot 1 minutt. Vekt-pluviometerstasjonene har i all hovedsak målt nedbør med timesoppløsning, men gjennom de siste årene har dette stasjonsnettverket gradvis gått over til å registrere nedbør med 10-minutters oppløsning. Vippe-pluviometerstasjonene som benyttes i dagens stasjonsnett registrerer nedbør med tidsoppløsning ned mot 1 minutt. Figur 1Figur 5 viser kart over målesteder med vekt- og vippe-pluviometere i Norge i dag. Av figuren er det tydelig at stasjonstettheten varierer i de ulike delene av landet.



Figur 5. Viser beliggenheten til målesteder med vekt- eller vippepluviometer i Norge (ajour november 2015)

Observerte data (timesverdier) fra vekt- og vippepluviometere er ikke direkte sammenlignbare da vekt-pluviometere måler nedbør for hele klokketimer, mens minuttverdiene fra vippe-pluviometere

akkumuleres opp for å finne høyeste verdi i løpet av 60 minutter. I arbeidet tilknyttet NIFS er dette håndtert ved å justere opp timesverdiene fra vektpluviometerene med en faktor på 1,12.

Analysen av observert korttidsnedbør viser at det er store regionale forskjeller på intensiv nedbør av forskjellig varighet i Norge. Tabell 1 viser de høyeste observerte nedbørverdiene med varighet 1 minutt – 1 døgn for hvert enkelt fylke. Analysen av de høyeste observerte nedbørintensitetene viser at det i all hovedsak er i områdene rundt Oslofjorden og langs kysten av Sørlandet en har målt de største nedbørmengdene for korte varigheter. Disse verdiene er som oftest knyttet til bygenedbør om sommeren. For varigheter lenger enn ca. 6 timer domineres de høyeste verdiene mer av frontnedbør og det er på Vestlandet de kraftigste episodene har funnet sted. De høyeste målte verdier ved Meteorologisk Institutt sine målestasjoner for ulike varigheter er: 1 minutt: 4,3 mm; 10 minutter: 26 mm; 30 minutter: 42 mm; 1 time: 55 mm; 6 timer: 87 mm; 12 timer: 144 mm og 1 døgn: 230 mm. Data fra værradar og private målestasjoner indikerer at det for en del varigheter lokalt har forekommet vesentlig høyere verdier enn det som er registrert ved Meteorologisk Institutt sine målestasjoner. Nedbørdata fra Meteorologisk Institutt sine målestasjoner er gratis tilgjengelige gjennom nettsiden www.eklima.no.

Tabell 1. Viser høyeste observerte nedbørintensitet fra METs målenettverk. I grått vises høyeste observerte verdi for hver varighet.

Fylke	Varighet								
	1min	10min	30min	1time	1t (vekt)*	2timer	6timer	12timer	1døgn**
Østfold	3,2	16,0	24,7	36,7	39,8	48,1	77,7	92,7	95,7
Hedmark	3,1	15,0	19,5	26,2	32,0	28,4	38,9	64,3	149,5
Oppland	1,9	9,9	19,2	22,5	30,9	27,9	36,2	48,4	109,2
Akershus	4,3	19,5	42,0	54,9	31,6	59,3	65,9	72,0	95,0
Oslo	4,1	18,7	38,6	49,3	49,8	56,1	66,6	85,6	104,3
Buskerud	2,4	15,6	18,8	20,2	29,8	22,0	41,4	58,0	113,2
Vestfold	3,3	15,1	27,1	44,9	47,5	64,4	86,1	112,2	139,1
Telemark	3,8	19,3	30,8	33,1	26,3	50,3	67,3	72,4	168,6
Aust-Agder	3,1	19,9	32,6	42,6	27,8	58,0	62,2	70,6	173,2
Vest-Agder	2,7	16,6	24,8	38,4	26,9	43,2	87,4	121,0	159,2
Rogaland	3,3	17,8	38,1	41,9	42,1	41,9	54,9	84,0	190,0
Hordaland	2,7	12,2	21,4	27,1	24,5	47,2	83,2	144,0	229,6
Sogn og Fjordane	2,4	6,1	10,1	11,1	22,5	13,4	30,0	47,6	207,8
Møre og Romsdal	4,3	25,5	28,3	28,9	24,3	29,1	37,8	67,6	178,5
Sør-Trøndelag	3,3	11,3	18,5	21,6	18,7	25,2	41,9	51,6	143,9
Nord-Trøndelag	3,2	13,9	15,7	17,2	27,3	23,0	29,8	43,4	129,5
Nordland	3,6	10,2	11,0	15,0	21,6	26,8	60,4	84,6	184,3
Troms	1,5	8,7	13,5	15,6	13,8	20,0	24,8	26,0	110,1
Finnmark	2,1	11,3	16,1	22,4	20,9	30,0	47,2	47,2	78,2

*1-times verdiene fra vektpluviometer er justert opp med en faktor på 1,12 (se tekst).

**Verdier fra METs manuelle målestasjoner (data fra 1895-dd), bortsett fra Østfold

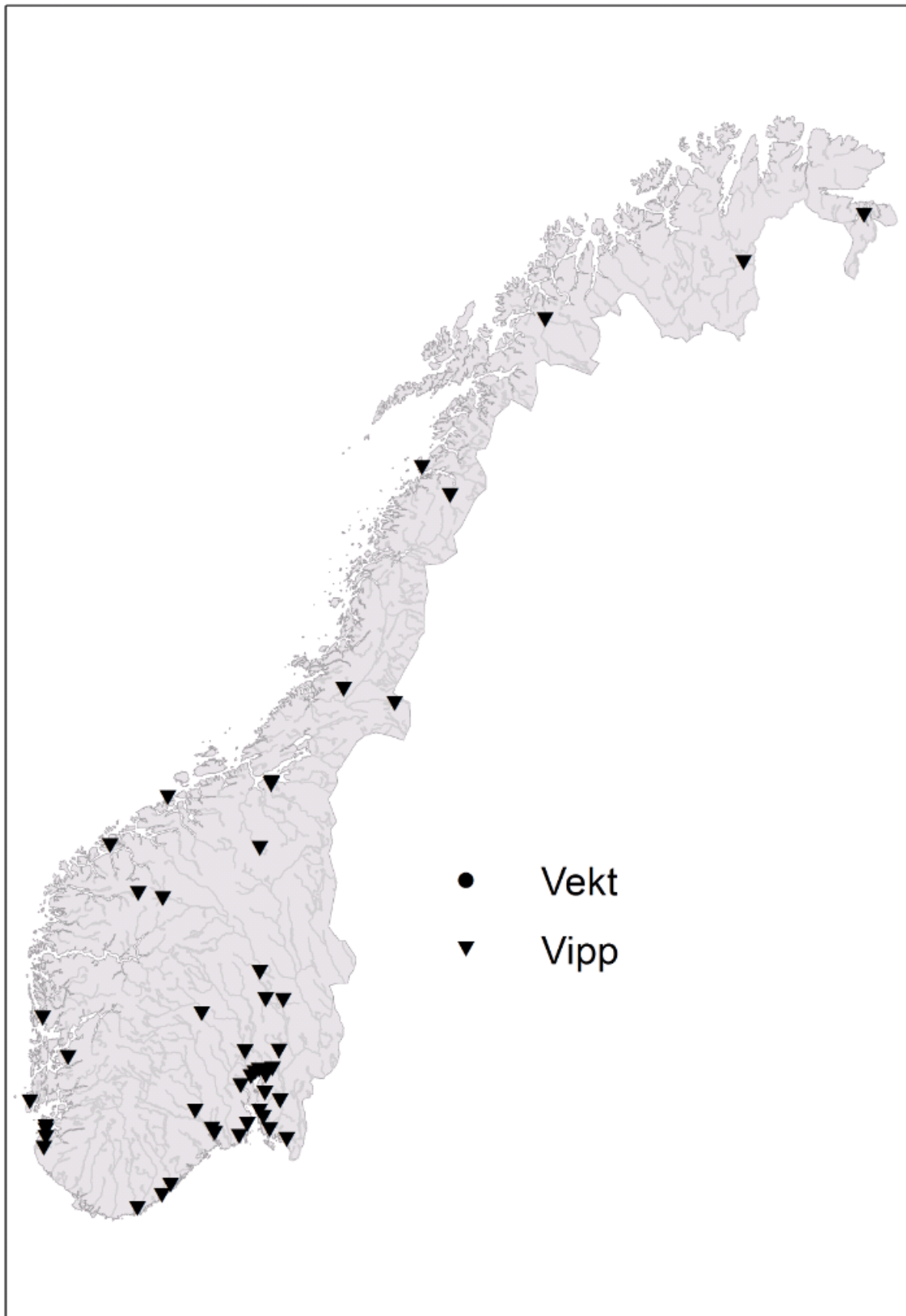
(1-døgnsverdien her er fra pluviometerstasjon 17260 Moss-Trolldalen)

2.3.2 Intensitet-Varighet-Frekvens (IVF kurver)

IVF-statistikk gir estimat av returperioder (frekvens) for nedbørintensitet med ulik varighet, og er vidt brukt i planlegging og utforming av vår infrastruktur. Vei, jernbane og annen infrastruktur bygges etter forskrifter (eksempelvis Byggteknisk forskrift (TEK10)) som legger føringer for hvilken returperiode en skal dimensjonere for, og dette vil være avhengig av konsekvensen ved brudd. Disse returperiodene vil i de aller fleste tilfeller være vesentlig høyere enn lengden på de dataserier en har som grunnlag for å utføre beregningene. Følgelig, som for alle typer ekstremverdianalyser, bygger IVF-statistikk i stor grad på ekstrapolering (modellering av den øvre del av frekvensfordelingen).

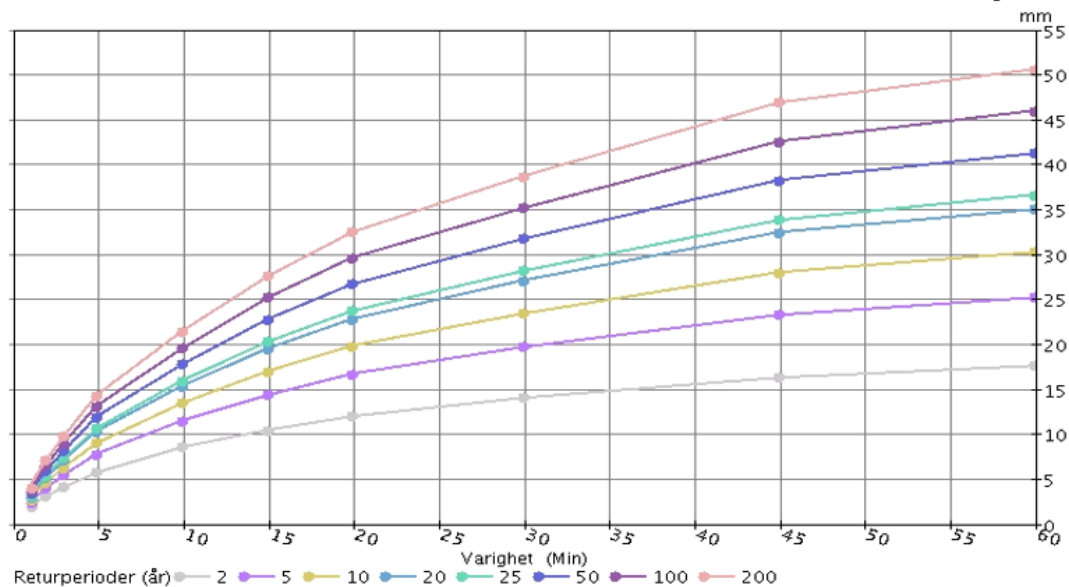
Det er utført IVF-statistikk for de nedbørstasjoner som antas å ha tilstrekkelig gode data (både kvalitet og lengde) og Figur 6 viser hvor i landet det per i dag foreligger denne typen estimer. Det er imidlertid viktig å være klar over at det kun er et fåtall av de eksisterende målestasjoner som observerer korttidsnedbør som har måleserier som er lengre enn 25 år og at dette medfører stor usikkerhet knyttet til de høyeste returnivåene (eksempelvis 200 års-nedbøren).

IVF-kurver og statistikk for stasjonene i Figur 6 kan lastes ned fra www.klimaservicesenter.no. På dette nettstedet presenteres det generell informasjon om dimensjonerende nedbørverdier, og oversikt over estimer på varigheter mellom 1 minutt – 24 timer og med returperioder på 2, 5, 10, 20, 50, 100 og 200 år. Dersom en har behov for varigheter lenger enn 24 timer og returperioder høyere enn 200 år, kan dette bestilles fra Meteorologisk Institutt eller en annen meteorologisk institusjon som kan dokumentere en faglig god beregningsmetodikk. Et eksempel på en IVF-kurve og IVF-statistikk for målestasjon 18701 Oslo – Blindern er vist i Figur 7 og Tabell 2. På www.klimaservicesenter.no kan en finne IVF-statistikk i (l/s·ha). Fra Figur 7 og Tabell 2 kan en for eksempel finne at timesnedbøren med returperiode på 20 år er 35 mm og at døgnnedbør med 50 års returperiode er 70 mm.



Figur 6. Beliggenhet for pluviostasjoner med tilgjengelig IVF-statistikk (ajour november 2015)

IVF-kurve i millimeter for 18701 OSLO - BLINDERN PLU. (Periode: 1968 - 2014. Antall sesonger: 46)



Figur 7. Eksempel på IVF-kurve (i millimeter) for 18701 Oslo - Blindern for 1 - 60 minutter (Observasjonsperiode 1968 - 2014)

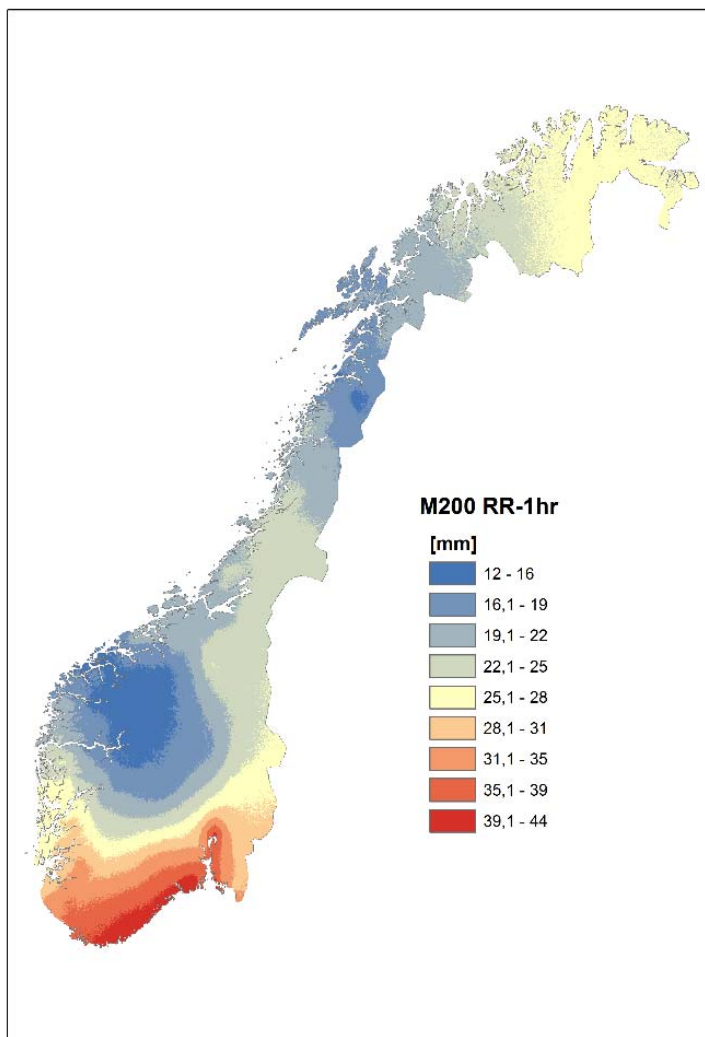
Tabell 2. IVF-statistikk (i millimeter) for Oslo - Blindern (Observasjonsperiode 1968 - 2014)

År	Varighet (minutter)										
	1	5	10	15	30	45	60	180	360	720	1440
2	1,7	5,7	8,4	10,3	14,0	16,2	17,6	22,8	25,9	35,0	42,3
5	2,2	7,6	11,4	14,3	19,6	23,2	25,1	30,2	34,1	44,1	51,0
10	2,6	8,9	13,3	16,9	23,4	27,9	30,1	35,2	39,5	49,7	57,0
20	2,9	10,2	15,2	19,4	27,0	32,3	35,0	40,0	44,7	55,3	63,1
25	3,0	10,6	15,8	20,2	28,1	33,8	36,5	41,5	46,4	57,0	64,8
50	3,3	11,8	17,7	22,6	31,6	38,1	41,1	46,1	51,4	62,6	70,0
100	3,6	13,0	19,5	25,1	35,1	42,4	45,8	50,8	56,4	67,8	76,0
200	3,9	14,2	21,3	27,5	38,6	46,8	50,5	55,4	61,3	73,4	81,2

For å kunne si noe om IVF-verdier i områder det ikke foreligger målinger har det blitt utført en avansert regresjonsanalyse for å beregne returperiode-verdier ved hjelp av deres samvariasjon med aktuelle klimatologiske og geografiske variabler. Analysene er gjort på gridceller av størrelse 1 x 1 km. Detaljene rundt analysen er presentert i Dyrrdal m. fl. (2015). Resultatene viste at de viktigste variablene for å estimere nedbør av kortere varigheter (1 og 3 timer) og forskjellige returperioder var gjennomsnittlig sommernedbør og sommertemperatur, sammen med breddegrad. Alle variablene som er inkludert i modellen er gitt i Tabell 3 og i Figur 8 presenteres resultatene for 1-times nedbør med 200-års returperiode. Resultatene viser at de høyeste estimatene for 1-times nedbør med 200-års returperiode er for områdene rundt Oslofjorden og langs kysten av Sørlandet, mens de laveste timesverdiene estimeres for områder nordvest for vannskillet. Med bakgrunn i det begrensede datagrunnlaget for utarbeidelsen av kartet i Figur 8 må imidlertid disse estimatene betraktes som et tentativt bilde av 200-årsverdiene.

Tabell 3. Variablene som inngår i regresjonsmodellen for å estimere nedbør med ulike varigheter og returperioder.

Varabler inkludert i modellen
Breddegrad
Lengdegrad
Høyde over havet
Avstand fra kyst
Midlere sommertemperatur (juni - august)
Midlere årsnedbør
Midlere sommernedbør (april - oktober)
Midlere antall døgn med nedbør

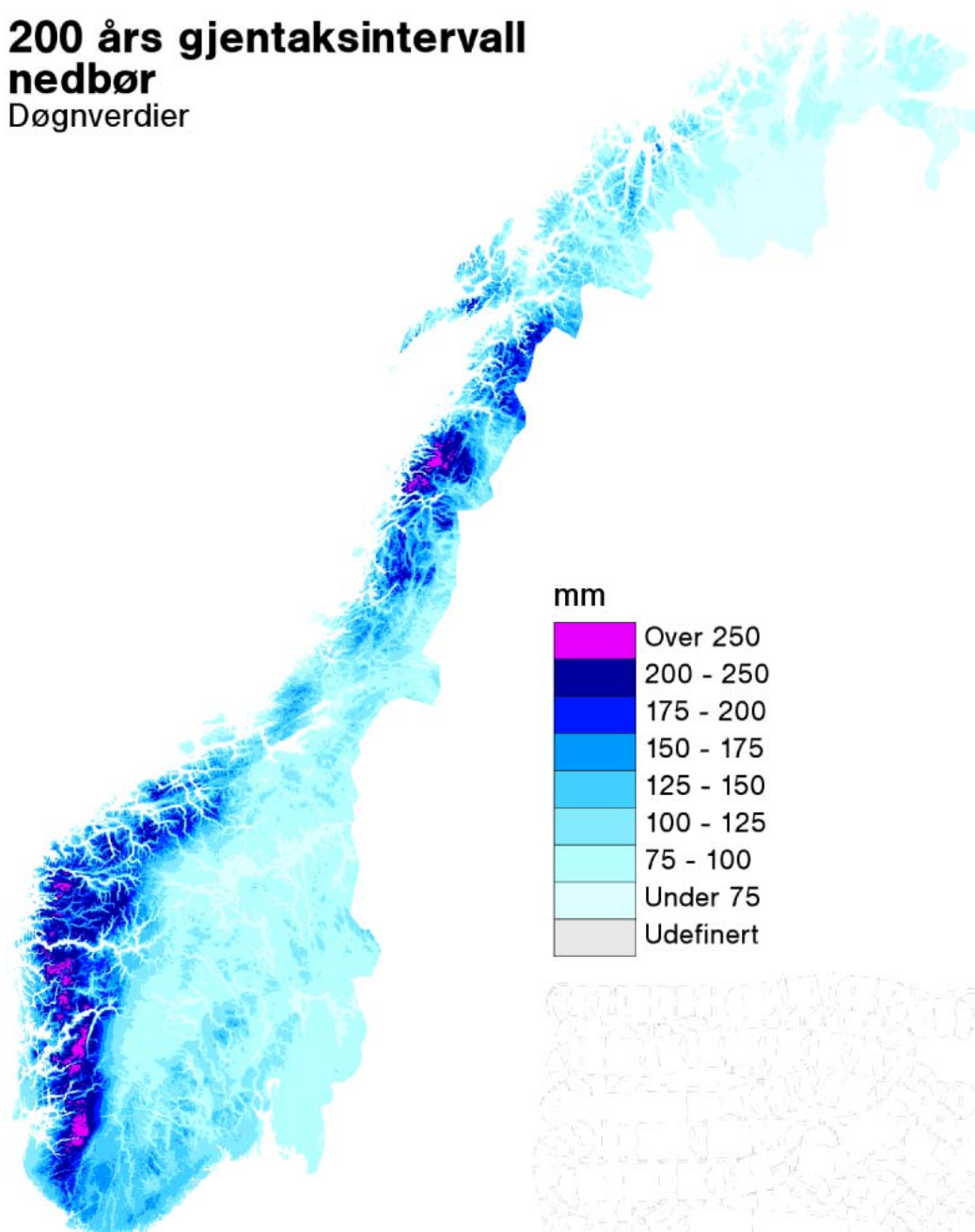


Figur 8. Geografisk fordeling av 1-times nedbør med 200-års returperiode (Dyrrdal m. fl., 2014).

Det foreligger et vesentlig mindre datagrunnlag for korttidsdata på nedbør (varighet < 24 timer) enn det gjør for døgnobservasjoner av nedbør fra Meteorologisk Institutt sine manuelle nedbørstasjoner (kl 08 – 08). Dette datasettet har både flere og lengre måleserier. På bakgrunn av de manuelle målestasjonene med døgndata er det utarbeidet kart for døgnverdier med returperiode på 200 år (Figur 9). Kartet gir en god oversikt over den geografiske variasjonen i dimensjonerende 200-års døgnnedbør. For å justere påregnelige verdier fra 1-kalenderdøgn til vilkårlige 24-timer anbefaler Førland (1992) at verdiene fra dette datasettet korrigeres med en faktor på 1,13.

200 års gjentaksintervall nedbør

Døgnverdier

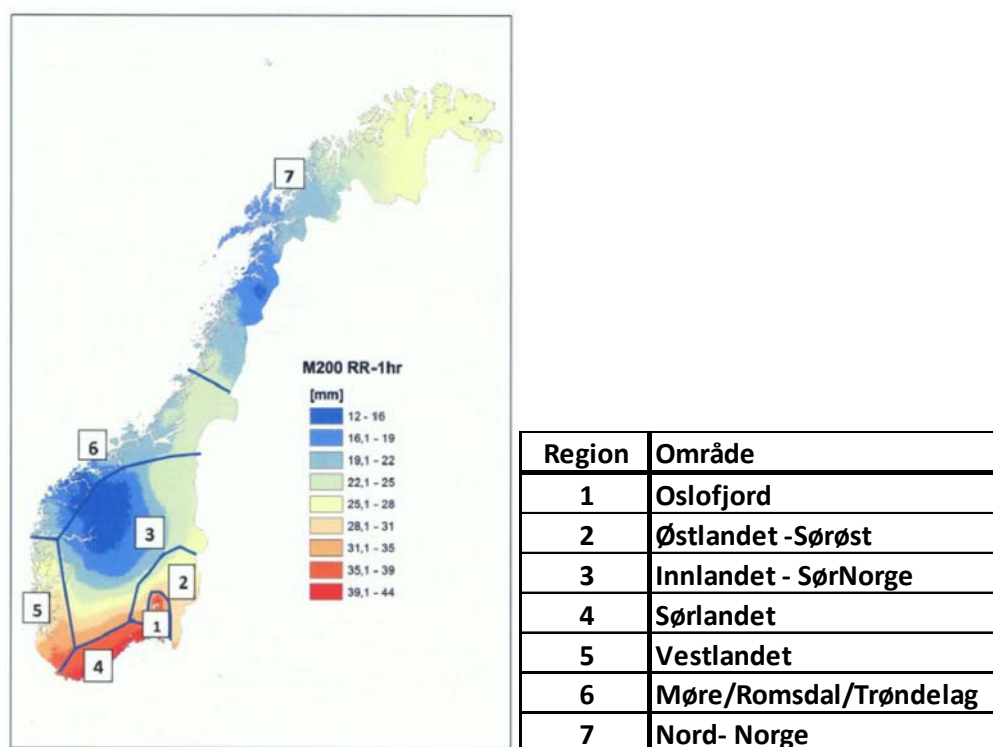


Figur 9. 1-døgns nedbør med 200-års returperiode. Datagrunnlag er METs manuelle vær- og nedbørstasjoner, og er basert på målinger i nedbørdøgnet kl 08-08. Førland (1992) anbefalte en faktor på 1,13 for å justere påregnelige verdier fra 1-kalenderdøgn til vilkårlige 24-timer.

2.3.3 Regionale Intensitet-Varighet-Frekvens (IVF) verdier

Lokale IVF-verdier (statistikk utført på enkeltstasjoner) kan være påvirket av lite representative nedbørintensiteter i perioden stasjonen har vært i drift. Dette kan være perioder med enten svært mange eller svært få heftige nedbørepisoder. «Outliere» (for korttidsnedbør gjelder dette ekstremt høye observasjoner sammenlignet med resten av datagrunnlaget) kan også medføre lite representativ statistikk ved lokale analyser. For å få et bedre innblikk i regionale variasjoner og mer robuste estimater av ekstreme nedbørverdier, er det gjort et forsøk på å dele landet inn i ulike regioner. Inndelingen er basert på resultatene fra fordelingen av 1-times nedbør i Figur 8 og kurvefordelingen for varighetene fra 1 minutt til 24 timer for hver av måleseriene. Inndelingen endte opp i syv regioner (Figur 10) og IVF-

verdiene for stasjoner med mer enn 10 år med data ble inkludert i sin respektive region. Region 3, 6 og 7 dekker svært store områder. Dette er områder hvor stasjonstettheten er forholdsvis lav. På grunn av det sparsomme datagrunnlaget i disse regionene er det vanskelig å avdekke lokale variasjoner.

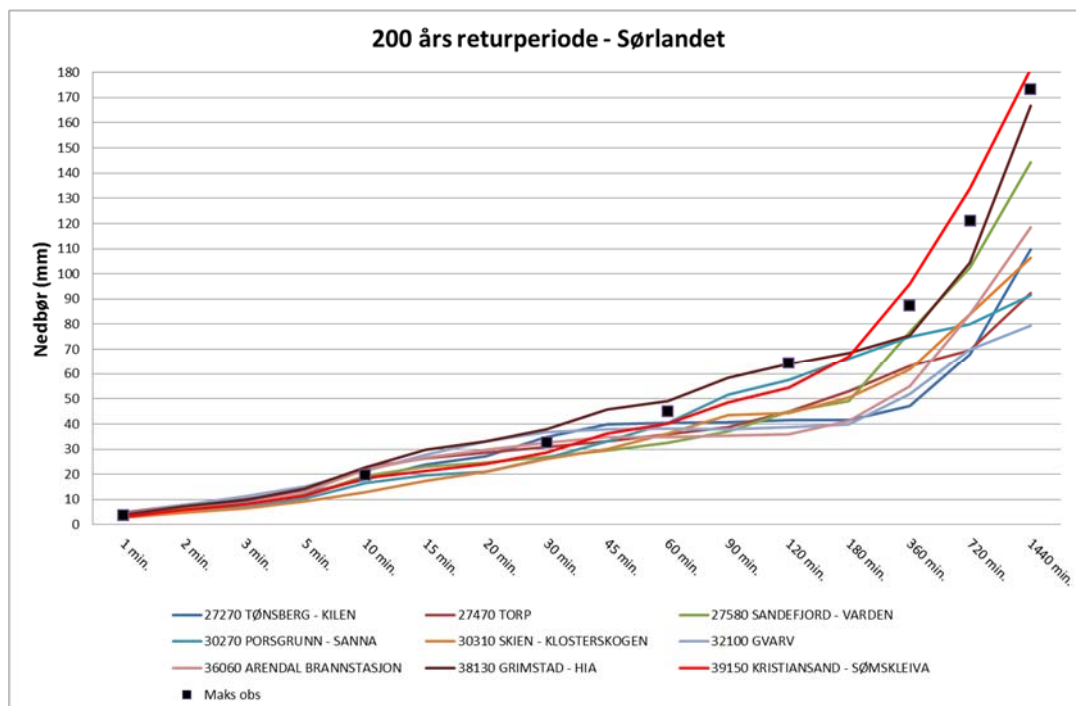


Figur 10. Tentativ regioninndeling av IVF-seriene for 200-års returperiode.

For hver region er IVF-kurvene til de respektive stasjoner samlet for å gi et inntrykk av variasjonen. Plot for alle regioner er gitt i vedlegg 5 (Figur 17 - Figur 23). Som eksempel vises her IVF-kurvene for Sørlandet (Figur 11). Av figuren kan en finne at døgnverdi-estimatet med 200-års returperiode varierer mellom 80-180 mm for stasjonene i området. Det laveste estimatet fås for stasjonen 32100 Gvarv som ligger rett nord for Norsjø i Telemark og lenger inn i landet sammenlignet med de andre målestasjonene. De høyeste estimatene i regionen finner en for stasjonene 39150 Kristiansand – Sømskleiva og 38130 Grimstad – HIA, som begge ligger helt ute ved kysten. Dette kan gi en indikasjon på at det oftere vil inntreffe høyere døgnverdier ved kysten enn lenger inn i landet i denne regionen, men på bakgrunn av det begrensede datagrunnlaget og påfølgende nødvendig ekstrapolering skal en være forsiktig med å konkludere.

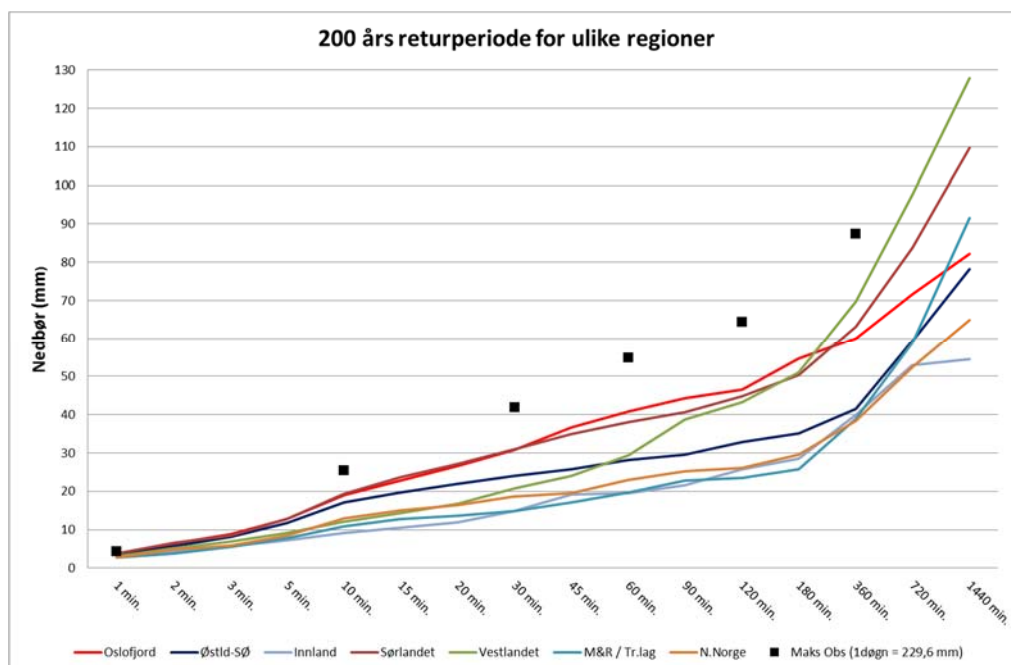
Medianverdien for forskjellige varigheter med returperiode 200 år, fra hver region, er presentert i Figur 12 og Tabell 4. I Figur 12 vises også høyeste registrerte nedbørverdi for norske målestasjoner ved ulike varigheter.

Det er områdene rundt Oslofjorden (Region 1 (R1)) og Sørlandet (R4) som har de høyeste verdiene for varigheter opp mot 4 timer. For lengre varigheter har Sørlandet høyere verdier enn Oslofjord-området. Også Østlandet-SØ (R2) har høye verdier opp til ca. 10 minutters varighet, men for lenger varigheter er verdiene for denne regionen vesentlig lavere enn for Oslofjord- og Sørlands-regionene. Vestlandet (R5) har de høyeste verdiene for varigheter over ca. 4 timer, men lavere verdier enn Region 1, 2 og 4 for korte varigheter. Regionene «Innlandet» (R3), Møre/Romsdal/Trøndelag (R6) og Nord-Norge (R7) har om lag samme verdier for varigheter opp til ca. 12 timer.



Figur 11. IVF-kurver for målestasjonene i region "Sørlandet" plottet sammen med høyeste observerte nedbør for hver enkelt varighet i regionen.

Det fremgår av Figur 12 at de høyeste målte verdiene i Norge ligger vesentlig høyere enn mediankurvene for regionene, men i de fleste regioner er det enkeltstasjoner med 200-års verdier på samme nivå som de høyeste målte verdiene. Det motstrider imidlertid ikke resultatene fra IVF-statistikken at det på vilkårlige steder vil forekomme nedbørintensiteter som overskrider estimatene med 200-års returperiode.



Figur 12. Medianverdier av nedbørintensitet for de ulike regionene med 200-års returperiode. Svart firkant viser høyeste registrerte nedbørverdi for norske målestasjoner.

Tabell 4. Medianverdi for nedbørmengde (mm) med 200-års returperiode for de syv regionene. Varigheter 1 minutt - 1 døgn.

Varighet	Region						
Minutter	1	2	3	4	5	6	7
1	3,6	3,3	2,7	3,8	3	2,8	2,7
2	6,4	5,7	4,25	6,5	5,2	3,8	4,8
3	8,8	8,15	5,65	8,4	6,9	5,5	5,9
5	12,8	11,75	7,3	12,7	9,2	7,7	8,5
10	19	17,15	9,15	19,4	12	10,9	12,9
15	22,8	19,7	10,5	23,7	14,4	12,7	15,05
20	26,7	22	11,95	27,2	16,8	13,6	16,45
30	30,8	24,1	14,8	30,9	20,8	14,8	18,6
45	36,6	25,8	19,2	34,9	24,1	17,1	19,5
60	40,8	28,15	19,55	38,1	29,4	19,7	23
90	44,2	29,55	21,55	40,6	38,8	22,8	25,15
120	46,5	32,85	25,8	44,8	43,3	23,5	26,15
180	54,6	35,1	28,55	50,4	51	25,8	29,5
360	60	41,45	40	63,1	69,8	38,9	38,35
720	71,7	59,4	52,95	83,8	97,6	58,8	52,45
1440	82,1	78,2	54,45	109,7	127,9	91,6	64,8

2.3.4 Anbefalt fremgangsmåte

Når en skal anvende nedbørdata i hydrologiske beregninger er det viktig å gjøre en grundig vurdering av verdien som skal benyttes. Resultatene fra analysene utført av Meteorologisk Institutt i NIFS-prosjektet 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. For å se eksemplifisering av de understående anbefalinger henvises leseren til regneeksemplene i vedlegg 6.

Generell arbeidsgang

Det anbefales alltid innledningsvis å få oversikt over hva som er tilgjengelig av observasjoner i området det skal utføres beregninger for. Nettportalen www.xgeo.no er resultatet av et samarbeid mellom Statens Vegvesen, Jernbaneverket, Kartverket, Meteorologisk Institutt og NVE. Gjennom denne portalen er det enkelt å få oversikt over hva som finnes av hydrologiske og meteorologiske målestasjoner. Ettersom datagrunnlaget på døgnnedbør (manuelle målestasjoner) 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 9 for å gjøre et første estimat av dimensjonerende døgnverdi. Sammenlign estimatet fra Figur 9 opp mot resultater fra frekvensanalyser (tilgjengelig gjennom Meteorologisk Institutt sine nettsider www.klimaservicesenter.no og www.eklima.no) for nærliggende stasjoner, og bestem dimensjonerende døgnverdi. Bruk de høyeste observerte verdiene fra de respektive målestasjoner til å vurdere den dimensjonerende nedbørverdien. Eksempelvis kan det være grunn til mistanke om for lav verdi om en med totalt 120 år med data har observert fem hendelser med returperiode på over 200 år. Når endelig verdi er valgt, legg til 13 % for å justere påregnelig verdi fra kalenderdøgn til vilkårlige 24-timer.

Estimat av verdier for kortere varigheter enn 24 timer

For varigheter kortere enn 1-døgn foreligger det i dag et mer begrenset datagrunnlag, og følgelig er de regionale analysene beheftet med en større grad av usikkerhet. Resultatene fra regresjonsanalysene

presentert i Figur 8 forventes naturlig nok å gi bedre estimater i områder med høy stasjonstetthet (eksempelvis Sørøstlandet) enn i områder med lite data (eksempelvis Nord-Norge). Slike kart vil etterhvert også bli produsert for flere varigheter og flere returperioder. For estimat av dimensjonerende nedbørverdier for korte varigheter er det helt nødvendig å nyttiggjøre seg av all tilgjengelig informasjon. Undersøk alltid om de finnes nærliggende pluviometerstasjoner i området (Figur 5).

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 (Figur 17 - Figur 23 i vedlegg 5), og at 200-års verdiene for 1 og 3 timer passer inn i mønsteret i Figur 32 og Figur 33 i vedlegg 5. Sjekk om det fra området foreligger observasjoner som tyder på at IVF-statistikken ikke gir representative estimat.

For områder der det ikke finnes nærliggende pluviometerstasjoner, anbefales det å benytte Figur 9 og benytte %-andel (Figur 26 i vedlegg 5) for å utarbeide et grovestimat av nedbør for ulike varigheter <24 timer. Sammenlign denne verdien med IVF- kurvene fra den aktuelle regionen (Figur 17- Figur 23 vedlegg 5), og bestem dimensjonerende verdi. Sjekk om det fra området foreligger observasjoner som tyder på at dette estimatet ikke er representativt.

Som nevnt tidligere medfører det begrensede datagrunnlaget på korttidsnedbør at times-verdiene presentert i Figur 8 ikke alltid klarer å fange opp de faktiske regionale forskjellene og at verdiene stedvis er noe lave. Dette kartet er følgelig modifisert i et forsøk på bedre å beskrive dette og resultatet er vist i Figur 32 i vedlegg 5. Dersom dimensjonerende timesverdi bestemt etter tilnærmingen beskrevet over overskrider verdien på kartet i Figur 32 i vedlegg 5, er estimatet muligens for høyt. I områder med veldig høye døgnverdier, eksempelvis midtre strøk av Vestlandet og kysten av Nordland, vil bruk av Figur 25 og Figur 26 i vedlegg 5 kunne gi svært høye verdier. I slike situasjoner anbefales det å anvende verdien fra Figur 32 og eventuelt å ta kontakt med Meteorologisk Institutt for ytterligere veiledning.

2.3.5 Pågående arbeid

Ved Meteorologisk institutt pågår det arbeid med å forbedre datagrunnlag, beregningsmetodikk og presentasjon av verdier for dimensjonerende korttidsnedbør for dagens og fremtidens klima. En viktig del av dette arbeidet foregår i NFR-prosjektet ExPrecFlood («Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding – Implications for design values»). Dette prosjektet (2015-2018) er et samarbeid mellom NVE, MET, Universitetet i Bergen, m.fl., og skal kombinere måledata (nedbør, avrenning, flom), radardata og modellsimuleringer. Viktige brukere er også med i prosjektet, og skal medvirke til presentasjon av nyttige og brukervennlige IVF-produkter på www.klimaservicesenter.no. Det arbeides fortløpende med å oppdatere IVF-statistikk, og med å utarbeide IVF-verdier også for målesteder med vektpluviograf (i første omgang for varigheter >1 time). Landsdekkende kart (som Figur 8) vil bli utarbeidet for flere varigheter og ulike returperioder. Også disse kartene vil bli fortløpende oppdatert med utvidet datagrunnlag. For oppdaterte kart og for IVF-statistikk for enkeltstasjoner og regioner, henvises det til nettsidene om «Dimensjonerende nedbør» på www.klimaservicesenter.no.

2.4 Snøsmelting/Snødata

Snøsmelting alene kan føre til store flommer, men som regel er de største flommene i små felt forårsaket av regn eller en kombinasjon av regn og snøsmelting (Stenius m. fl., 2014). For områder der de største flommene er påvirket av snøsmelting, må flomberegninger basert på nedbør-avløpsmodeller, både regne med bidrag fra nedbør og snøsmelting. Ved bruk av meltebidrag må flomsesong mm bestemmes. For mer om dette se kapittel 5.3.2 og Midttømme m. fl. (2011). Bidraget fra snøsmelting kan også beregnes ved en temperaturmodell (Førland & Tveito, 1997).

3 Teori

3.1 Gjentakintervall/Returperiode

Gjentaksintervall beskrives i Vassdragshåndboka (2010) slik: «Gjentaksintervall er et mål for hvor mange år det i gjennomsnitt er mellom hver gang en bestemt flomvannføring overskrides». Eksempelvis vil en 100-årsflom opptre gjennomsnittlig hvert hundrede år om en hadde en uendelig lang tidsserie, for en 100-årsflom er det 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. Begrepet gjentakintervall er helt essensielt når en snakker om flomberegninger ettersom all infrastruktur som konstrueres i dag har krav om å tåle en vannføring med en viss returperiode. Veier, boliger osv., skal som regel tåle minimum en 200-årshendelse, mens kritisk infrastruktur som sykehus og dammer skal tåle hendelser med returperioder på 500-1000 år. Kapittel 4.1 presenterer noen av de føringer som ligger for forskjellige konstruksjoner og gjentakintervall. For mer informasjon om gjentakintervall se for eksempel Vassdragshåndboka (2010), Retningslinjer for flomberegninger (Midttømme m.fl., 2011), Sælthun (1997) eller Cunnane (1989).

3.2 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 byggevær 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).

3.3 Konsentrasjonstid

«Konsentrasjonstiden til et felt er den tid det tar for vannet å beveges seg gjennom dreneringssystemet fra de fjerneste delene av feltet til utløpet», (Andersen m. fl., 1982). Konsentrasjonstiden til et nedbørfelt sier noe om hvor raskt feltet reagerer. Konsentrasjonstiden er ikke målbar, og estimeres gjerne gjennom empirisk utarbeidede formler knyttet til den flomberegningsmetoden som skal anvendes. Eksempler på formler for utregning av konsentrasjonstid er gitt nedenfor.

Konsentrasjonstid (T_{cSVV}) ved den rasjonale formel fra Statens Vegvesen Håndbok N200 (SVV, 2014) er gitt ved:

for naturlige felt (f.eks. skogsområder, ikke utbygde felt)

$$T_{\text{cSVV}} = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3000 \cdot A_{\text{SE}} \quad [\text{time}] \quad (1)$$

for urbane felt (utbygde felt)

$$T_{\text{cSVV}} = 0,02 \cdot L^{1,15} \cdot H^{-0,39} \quad [\text{time}] \quad (2)$$

hvor L er feltlengden [m], H er høydeforskjellen i feltet [m] og A_{SE} er effektiv innsjøprosent [%].

Konsentrasjonstid beregnet med den pragmatiske metoden (T_{cPRAG}), der vannet antas å ha en gjennomsnittshastighet med 1-2 m/s (Midttømme m.fl., 2011), er gitt ved:

$$T_{cPRAG} = L_F / \left(\frac{m}{t}\right) \quad [\text{time}] \quad (3)$$

hvor L_F er feltlengden i km og $\left(\frac{m}{t}\right)$ er vannhastighet i m/s.

Konsentrasjonstid estimert ved hjelp av nedre tømmekonstant i flommodulen i PQRUT (Midttømme m.fl., 2001) er gitt ved:

$$T_{cPQRUT} = 1/K2 \quad [\text{time}] \quad (4)$$

hvor $K2$ er nedre tømmekonstanten som er nærmere beskrevet i kapittel 5.3.

For små felt ($< 5 \text{ km}^2$) med lav effektiv sjøprosent ($< 1 \%$) anbefales det å anvende ligning (1) for å beregne konsentrasjonstiden, mens det for større felt anbefales å bruke ligning (3).

3.4 Tidsskritt og varighet for flomforløpet

For å best kunne beskrive et flomforløp må passende tidskritt og varighet velges. Disse faktorene har også betydning for hvilke hydrologiske og meteorologiske analyser som legger grunnlaget for flomberegningen.

Normalt er det slik at snøsmelteflommer vil ha noe lengre varighet og et tregere forløp enn flommer forårsaket hovedsakelig av regn. For flommer med et antatt tregere forløp kan tidsskrittet være større og varigheten lengre. Ved regnflommer kan kortere tidskritt og raskere forløp være mer beskrivende for flomhendelsen.

Feltstørrelse og effektiv sjøprosent er de viktigste betraktningene for valg av tidskritt og varighet. I små felt vil flomutviklingen skje raskt og varigheten kan være kort. Dette gjelder særlig i felt der det er liten effektiv sjøprosent og dermed liten flomdemping, i slike tilfeller er det særlig viktig å ha liten tidsoppløsning på flomforløpet (Midttømme m. fl., 2011).

3.5 Initialtilstand

Feltets initialtilstand (hvor vått det er i bakken og hvor mye vann det renner i elven/bekken) vil være avgjørende for hvor stor vannføringen blir som følge av en gitt nedbørepisode. Når en utfører flomberegninger håndteres dette på ulike måter. For flomberegninger utført med Rasjonale formel blir dette aspektet tatt hensyn til ved at «C-verdien» økes ved økende gjentakintervall (større del av nedbøren går til avrenning). Eksempelvis bør, ifølge SVV (2014), C-verdien økes med 10 % dersom det skal utføres beregninger for en flom med gjentakintervall på 25 år og 30 % ved gjentakintervall på 200 år. For mer om C-verdien og Rasjonale formel se kapittel 5.4 og 6.4. For dimensjonerende flomberegninger ved bruk av nedbør-avløpsmodeller (eksempelvis PQRUT) er det vanlig, spesielt i små felt, at det settes full metning som initialtilstand (Midttømme m. fl., 2011).

3.6 Vurdering av representativitet og 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 å 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. 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 snau fjell 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}).

I forhold til middelflom:

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 vekskurve:

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, så som for eksempel beliggenhet, høyde over havet, nærhet, eventuell side av en fjellkjede med mere, er av størst betydning ved sammenligning og vurdering av den spesifikke middelvannføringen q_N , sammen med dataseriens lengde og tidssperiode.

3.6.1.1 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. Nedenfor er 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 dempning og sannsynligheten for samtidig og intensiv nedbør over hele feltet minker.

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

Snaufjell/bartfjell/tynt 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 myrarealene 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 dermed til mer nedbør i form av snø vinterstid og dermed større smelteflommer.

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 magasinerings 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.

4 Beregningsforutsetninger

Når en planlegger utbygging i eller langs elver og bekker, må det tas hensyn til krav om sikkerhet mot flom, først og fremst ved å unngå utbygging i områder som er utsatt for flom og oversvømmelse. Ved utbygging må tiltakene dimensjoneres slik at kravene i retningslinjer/lovverk blir oppfylt.

Når det skal utføres en flomberegning, er det viktig på forhånd å avklare hvilke krav og forutsetninger som skal ligge til grunn for beregningen. I avsnittet om gjentakintervall for dimensjonering (4.1), er det henvisning til de mest vanlige typene flomberegninger og hvilke flomstørrelser det er krav til at det dimensjoneres for.

Denne veilederen er utviklet for små felt. Med små felt i denne sammenhengen menes en elv eller bekk med et nedbørfelt mindre eller lik 50 km^2 . Ved bruk av formelverk og anbefalte metoder utover dette, må man utøve forsiktighet og vurdere resultatene nøye.

Metodikken som er beskrevet her gjelder for uregulerte felt, dvs. felt som i liten grad er påvirket av menneskelige inngrep. Når et nedbørfelt er påvirket av for eksempel urbanisering eller reguleringer, som magasiner eller overføringer, er det nødvendig å ta høyde for dette. Til en viss grad kan metodikken her tillates benyttet i mindre påvirkede vassdrag, men dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Under er det utdypet nærmere problemstillinger som kan dukke opp.

4.1 Gjentakintervall for dimensjonering

Ut fra tiltakets art, risikovurdering og varighet, er det ulike krav til flommenes årlige nominelle sannsynlighet som legges til grunn for dimensjoneringene. En del ulike tiltak og henvisninger til veiledere og lover er gitt under.

4.1.1 Arealplanlegging

Krav til sikkerhet mot flom for byggverk og tilhørende uteareal er gitt i Byggteknisk forskrift - TEK10 - § 7-2. Sikkerhet mot flom og stormflo er sentral ved nybygg og utviding av eksisterende bygg.

Bestemmelsene i § 7-2 gjelder sikkerhet for saktevoksende flommer som normalt ikke medfører fare for menneskeliv.

4.1.1.1 Sikkerhetsklasser for flom

Sikkerhet mot flom og stormflo reguleres ved tre sikkerhetsklasser med utgangspunkt i største nominelle årlige sannsynlighet for flom, se Tabell 5. Hvilken sikkerhetsklasse ulike typer byggverk tilhører er avhengig av konsekvensene ved oversvømmelse. Konsekvensene er igjen avhengig av hvilke funksjoner byggverkene har og/eller kostnadene ved skader.

Tabell 5. Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område.

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

Retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for flom:

Sikkerhetsklasse F1 gjelder tiltak der oversvømmelse har liten konsekvens. Dette omfatter byggverk med lite personopphold og små økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser, eksempelvis garasje eller lagerbygning med lite personopphold.

Sikkerhetsklasse F2 gjelder tiltak der oversvømmelse har middels konsekvens. Dette omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, eksempelvis bolig, fritidsbolig og campinghytte, garasjeanlegg og brakkerigg, skole og barnehage, kontorbygning, industribygg, driftsbygning i landbruket som ikke inngår i sikkerhetsklasse F1.

Sikkerhetsklasse F3 gjelder tiltak der oversvømmelse har stor konsekvens. Dette omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der oversvømmelse kan gi stor forurensning på omgivelsene, eksempelvis byggverk for særlig sårbare grupper av befolkningen, f.eks. sykehjem og lignende, byggverk som skal fungere i lokale beredskapssituasjoner, f.eks. sykehus, brannstasjon, politistasjon, sivilforsvarsanlegg og infrastruktur av stor samfunnsmessig betydning, avfallsdeponier der oversvømmelse kan gi forurensningsfare.

Bestemmelsen om flom omfatter også stormflo. Det betyr at de samme sikkerhetsnivåene gjelder.

For en mer detaljert beskrivelse av bygging i flomutsatte områder se «Flaum- og skredfare i arealplanar», Retningslinjer 2-2011, utgitt av NVE.

4.1.2 Vegbygging: bruer, kulverter og stikkrenner (SVV)

Statens vegvesen sin håndbok for vegbygging (SVV, 2014) angir at bruer, kulverter og stikkrenner, samt forbygninger og erosjonssikringer, skal dimensjoneres etter en 200-årsflom. En sikkerhetsmargin legges også til.

4.1.3 Skogsveger, kulverter og stikkrenner

Kulverter og stikkrenner i forbindelse med Skogsveger skal dimensjoneres etter en flom med gjentaksintervall i størrelsesorden 20-50 år. Se egen veileder «Skogsveger og skredfare – veileder», (Fergus m. fl., 2011), utgitt av Skogbrukets Kursinstitutt.

4.1.4 Dammer og vassdragsanlegg

Flomberegninger og dimensjonering av dammer, flomløp og andre vassdragsanlegg, er underlagt gjeldende retningslinjer og lovverk tilknyttet § 5-7 i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften). Forskriften stiller krav om at alle vassdragsanlegg skal klassifiseres ut ifra fem klasser (0-4), avhengig av skadepotensial. For mer om damsikkerhetsforskriften se «Veileder til damsikkerhetsforskriften - Klassifisering av vassdragsanlegg» (Norum m. fl., 2014).

Tabell 6 viser hvilke krav til flomberegninger som stilles til dammer i klasse 1-4.

Det er krav om at den som utfører beregningen eller har fagansvaret, er godkjent iht. NVEs krav og er tildelt godkjennelsesbrev. Det er utarbeidet egne retningslinjer som beskriver metodikk, utførelse og krav til en slik flomberegning (Midttømme m. fl., 2011).

Tabell 6. Krav til flomberegninger

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

For dammer som er i klasse 0 er det ikke stilt krav til spesielt gjentakintervall for dimensjonerende flom, men NVE anbefaler at flom med gjentakintervall på 200 år, eller mer, benyttes for dimensjonering av dam og flomløp (Midttømme, 2006). For anlegg i klasse 0 med konsesjon etter vannressursloven kan NVE stille krav om gjentakintervall.

4.2 Regulerte vassdrag

Som nevnt tidligere, er denne veilederen først og fremst ment benyttet for uregulerte (naturlige) nedbørfelt. I nedbørfelt med en regulering, som for eksempel overføringer eller magasiner, vil metodene beskrevet her ikke nødvendigvis være gyldige. Ut fra reguleringens art, kan det være nødvendig med vurderinger av overføringskapasiteter, reguleringsforutsetninger og magasinenes evne til å dempe flommene. Metodene som bør brukes for regulerte vassdrag er nærmere beskrevet i Midttømme m. fl. (2011).

Er reguleringene små, er det ofte godt nok å anta uregulerte forhold ved store flommer. Forholdene oppstrøms magasiner kan også til en viss grad tas hensyn til gjennom parameteren «effektiv sjøprosent» i formelverk og vurderinger.

Det kan ved mange ulike anledninger være av interesse å beregne uregulert tilsig til et magasin. Det er da viktig at magasinet ikke tas med i beregning av den effektive sjøprosenten, men den effektive sjøprosenten som beregnes i NEVINA er inklusive magasinarealet. I slike tilfeller kan følgende korrigering av den effektive sjøprosenten fra NEVINA ($A_{SE,nevina}$) benyttes:

$$A_{SE} = 100 \% \cdot A \cdot [(A \cdot A_{SE,nevina}) - A_M] / (A)^2$$

A_{SE} er korrigert effektiv sjøprosent, $A_{SE,nevina}$ er effektiv sjøprosent inklusive magasinarealet beregnet i NEVINA, A er totalarealet og A_M er magasinarealet. Dette betyr at magasinarealet (A_M) regnes med i totalarealet (A), da nedbør direkte på magasinet også gir et «raskt tilsig», men at magasinarealet fjernes ved beregning av effektiv sjøprosent for feltet oppstrøms magasinet.

Inneholder nedbørfeltet store magasiner, bør flomberegningen ta hensyn til flomvolum gjennom å route tilsiget gjennom magasinet(ene), for mer om metodikk ved magasiner i feltet og routing se Midttømme m. fl. (2011).

4.3 Urbane felt

Ved menneskelige inngrep og gjentetting av flater, vil bakken miste sin evne til å infiltrere vann og overflateavrenningen og flomstørrelsene vil øke. Metodene beskrevet her omfatter ikke urbaniserte felt.

Avrenning fra tette flater vurderes gjerne ved bruk av nedbørintensitet og den Rasjonale formell med konsentrasjonstid beregnet for urbane felt. Den rasjonale formelen er nærmere beskrevet under kapittel 5.4.

Hvis feltet i liten grad (noen få prosent) er påvirket av urbanisering kan metodene som er beskrevet i denne veilederen likevel brukes.

4.4 Grensebetingelser

Enkelte nedbørfelt kan ha spesielle forhold, for eksempel hvor elveløp splittes eller vann har to utløp. I slike felt må det anslås en fordeling av vannet i de ulike løpene. Dette kan variere med vannføring/vannstand, og må vurderes ved ulike vannstands nivåer.

Ved vurdering av flomutsatte arealer ved en liten elv eller bekk, kan også andre påvirkninger (det er med andre ord ikke kun vannføringen i vassdraget som påvirker de flomutsatte områdene) ha stor betydning for flomvannstandene. Det kan derfor være nødvendig å vurdere andre kilder slik som for eksempel flo/fjære, nedstrøms hydrauliske forhold eller store vassdrag som ved stor vannføring påvirker sidevassdrag ved flom. I tillegg kan erosjon, sedimentering, gjengroing etc. i bekker og elver føre til endringer i avløpskapasiteten (endring av vannstander ved en gitt vannføring).

NVE har utarbeidet flomsonekart for mange av de mest skadeutsatte strekningene i Norge. Kartene, som viser oversvømt areal ved flommer med ulike gjentakintervall, finnes på NVEs hjemmesider (www.nve.no). Slike kart kan direkte benyttes i vurderingen. På steder uten kart, må flomvannstander i nedstrøms elv vurderes opp mot sideelv/bekk.

Ved utløp i sjø, må stormflo tas hensyn til. Med stormflo menes vannstander høyere enn normal flo i sjø som følge av kraftig lavtrykk og sterk vind. I DSBs (Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap) rapport, Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging (DSB, 2011), gis det råd om hvordan kommuner og andre kan gå fram for å skaffe seg oversikt over farer, risikoer og sårbarhet for havnivåstigning, stormflo og bølgepåvirkning.

Oversikt over ulike vannstands nivåer, inkludert dagens stormflonivåer, kan hentes fra Kartverkets hjemmesider (www.kartverket.no).

Bruer med liten kapasitet eller kulverter som kan gå tette kan også medføre uforutsette tilstander. Alternative flomveier og oppstuvningseffekter fra nedstrøms hydrauliske forhold bør kartlegges.

5 Metoder

Det finnes mange ulike metoder som kan benyttes ved flomberegninger, men generelt kan metodene inndeles i to hovedgrupper: flomfrekvensanalyser og nedbør-avløpsanalyser.

Flomfrekvensanalyser kan utføres på observerte flomdata fra enkeltstasjoner, beregnede tilsigsserier¹ eller eventuelt konstruerte dataserier². Flomfrekvensmetoden kan også benyttes til ulike typer av regionale flomfrekvensanalyser som utføres for et begrenset antall stasjoner i en liten region eller for et større antall stasjoner for et stort geografisk område som for eksempel formelverket for små nedbørfelt (Glad m. fl., 2015), beskrevet i kapittel 5.2, eller de regionale flomformlene og flomfrekvenskurvene (Sælthun m. fl., 1997).

Nedbør-avløpsmetoden bruker frekvensanalyser av nedbørdata som input. Nedbørverdiene (og eventuelt snøsmelteverdier) overføres så til flomverdier ved hjelp av hydrologiske modeller eller formler som for eksempel flommodulen i PQRUT (kap. 5.3) eller Rasjonale formelen (kap. 5.4).

De regionale flomformlene og frekvenskurvene (Sælthus m. fl., 1997) er utviklet for store felt, over 100 km², men kan ifølge Midttømme m. fl. (2011) brukes med forsiktighet for felt ned til 20 km². De regionale flomformlene og frekvenskurvene beskrives ikke nærmere i denne veilederen, og for nærmere beskrivelse og anbefalinger ved bruk av disse se «Retningslinjer for flomberegninger» (Midttømme m. fl., 2011).

5.1 Flomfrekvensanalyse på observerte flomdata

Ved flomfrekvensanalyse (FFA) bestemmes flomfrekvensfordelingen av en eller flere flomserier. Ved estimering av sannsynligheten for større flommer enn de som er observert tilpasses dataene til en statistisk fordelingsfunksjon. Eksempel på ulike fordelingsfunksjoner og tilhørende observasjoner vises i Figur 13.

Analysene gjøres som regel på årsflommer eller flommer som overstiger et visst nivå (Peak Over Threshold, POT-metoden), men analysene kan også utføres på vår- eller høstflommer. Årsflommetoden har vært den mest brukte metoden i Norge (Vassdragshåndboka, 2010).

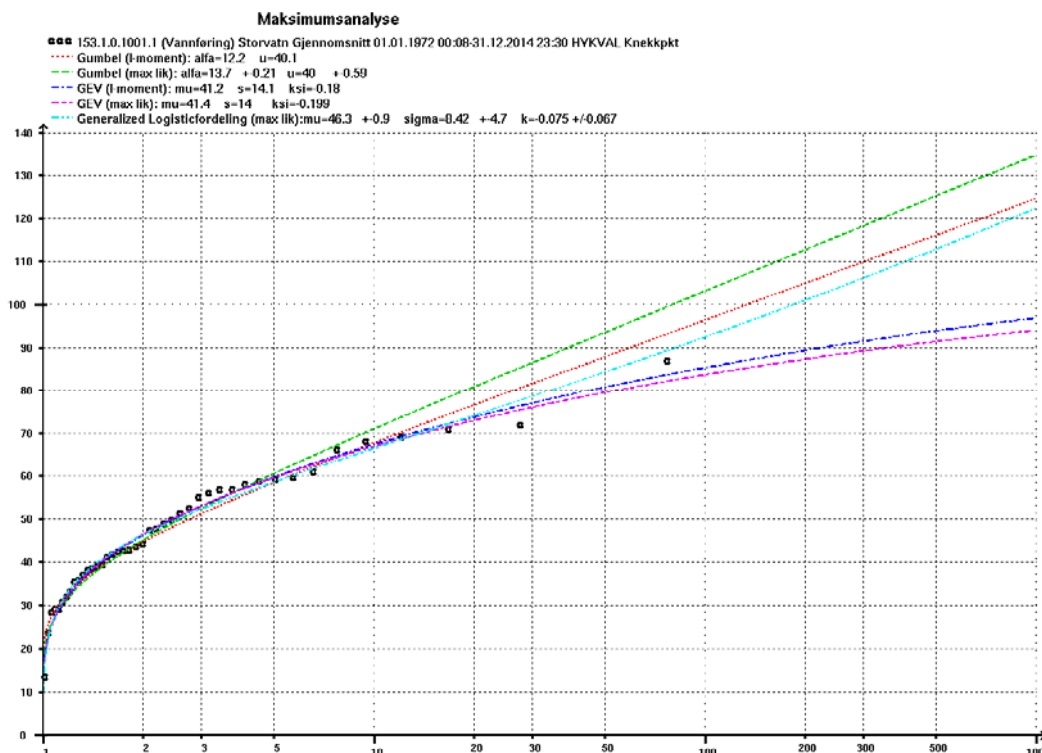
Vanligvis utføres analysene på oppløsning ett døgn, siden de lengste tidsseriene ofte har denne oppløsning. Kulminasjonsvannføring kan være betydelig høyere enn døgnverdier, særlig for små felt. I dag registrerer stort sett alle målestasjoner data på timesoppløsning. Det blir dermed stadig flere og lengre tidsserier med finere tidsoppløsning enn døgn og dermed blir muligheten å utføre flomanalyser på findata bedre med tiden.

For mer informasjon om teorien bak flomfrekvensanalyser se for eksempel Vassdragshåndboka (2010), Retningslinjer for flomberegninger (Midttømme, 2011), Sælthun (1997) eller Cunnane (1989).

En frekvensanalyse basert på observerte data gir en middelflom Q_M (med en gitt varighet) og forholdstallet Q_T/Q_M mellom en flom med en bestemt returperiode T (Q_T) og middelflommen Q_M .

¹ En tilsigsserie er en konstruert dataserie som, for et regulert vassdrag, har som hensikt å beskrive hvordan vannføringen ville variert gjennom året dersom vassdraget ikke hadde vært regulert. For mer om tilsigsserier se bla. Midttømme m. fl. (2011).

² En dataserie, eller en såkalt arbeidsserie, er en konstruksjon av observerte tidsserier der det ikke foreligger direkte observasjoner. For eksempel hvis det foreligger data for to elver som møtes, kan en dataserie for elven etter samløpet konstrueres. For mer om dataserier se bla. Midttømme m. fl. (2011).



Figur 13. Eksempel på flomfrekvensanalyse med ulike fordelingsfunksjoner utført på findata med analyseverktøyet Ekstremverdi-analyse i programmet Finut (Hydra II). X-aksen viser vannføring i m³/s og y-aksen viser gjentakintervall i år.

5.1.1 Fordelingsfunksjoner

Det finnes mange ulike fordelingsfunksjoner. Hvilken fordelingsfunksjon som velges er blant annet avhengig av hvilken type analyse som skal gjøres og hvor lang tidsserien er. I tillegg har mange land ulike «tradisjon» for bruk av fordelingsfunksjoner. Vanlige fordelingsfunksjoner ved flomfrekvensanalyse i Norge er for eksempel General Extreme Value (GEV) og Gumbelfordelingen. Disse, og mange andre fordelingsfunksjoner, finnes tilgjengelige under analyseverktøyet Ekstremverdi-analyse i programmene Dagut og Finut i NVEs Hydra II (se mer forklaring om Hydra II med mere i vedlegg 0). I analyseverktøyet Ekstremverdi-analyse finnes det i tillegg informasjon om hver enkel fordeling, hvilke og hvor mange parametere som inngår i fordelingsfunksjonen og hvilke typer analyser de vanligvis brukes til. Hver fordeling kan utføres ved hjelp av tre ulike metoder: l-momenter, Max-likelihood og Bayesiansk tilnærming. For mer om dette se forklaringstekst under hver fordeling i Ekstremverdi-analyse verktøyet eller litteratur som omhandler denne typen statistikk.

Mer om valg av fordelingsfunksjoner er beskrevet i kapittel 6.1.2.

5.1.2 Usikkerhet ved flomfrekvensanalyser

Observerte data som benyttes i flomfrekvensanalyser er basert på vannstander som omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven, men disse direkte målingene er ofte ikke utført på store flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstander og vannføringer.

Usikkerheten kan, i tillegg til usikkerhet i vannføringskurven, også skyldes eventuelle reguleringer i vassdraget, is eller andre forhold i vassdraget som stuer opp vannstanden. Dette medfører at også ”observerte” flomvannføringer inneholder en stor grad av usikkerhet.

I tillegg er det ofte betydelig usikkerhet knyttet til valg av fordelingsfunksjon, tilpasning til data, lengde på serie med mer. Nøyaktigheten av flomfrekvensanalysen er også avhengig av valgt fordelingsfunksjon og hvorvidt denne gir en riktig bilde av de reelle flomforholdene. Selv om fordelingsfunksjonen gir en god tilpasning til observerte data, kan det likevel gi «unøyaktige» flomestimat, hvis for eksempel de observerte dataene ikke har en god statistisk spredning.

Usikkerheten reduseres når en både har lange dataserier og at de observerte dataene har en god statistisk spredning (f.eks. at en tidsserie på drøyt 100 år har en flom med gjentakintervall på 100 - 200 år og 2 på 50 år eller mer).

5.2 Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt

I forbindelse med NIFS-prosjektet (Etatsprogrammet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred, 2012-2015) har et nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt blitt etablert. Formelverket beregner middelflom og vannføringer med høyere returperioder, direkte på kulminasjonsverdier, for små (< ca. 50 km²) uregulerte nedbørfelt i Norge (Glad m. fl., 2015).

Formelverket er basert på ett sett med ligninger for hele Norge. En ligning for estimering av middelflommen, Q_M , og en ligning for å beskrive vekstkurven, Q_T/Q_M , (forholdet mellom middelflom og en flom med et vilkårlig gjentakintervall T). Flere statistiske fordelinger ble undersøkt for å bestemme hvilken som best beskrev vekstkurvene, og det var den generaliserte logistiske fordelingen som utpekte seg som mest passende (Glad m. fl., 2015). Det resulterende ligningssettet er gitt ved formel 5 og 6.

For middelflommen (Q_M) viser regresjonsanalysen følgende sammenheng:

$$Q_M = 18.97 Q_N^{0.864} e^{-0.251 \sqrt{A_{SE}}} \quad (5)$$

hvor Q_N er nedbørfeltets middelvannføring (m³/s) i perioden 1961-90 hentet fra avrenningskartet, A_{SE} er den effektive sjøprosenten (%) og e er grunntallet $e \approx 2,718$. I formelverket ser en at et høyere middeltilsig gir økt middelflom og at økt effektiv sjøprosent demper flommen og følgelig gir en lavere flomverdi.

For vekstkurven ble resultatet:

$$\frac{Q_T}{Q_M} = 1 + 0.308 \cdot q_N^{-0.137} [\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}] / k \quad (6)$$

hvor q_N er middelvannføring (l/s·km²) i perioden 1961-90 hentet fra avrenningskartet, Γ er gammafunksjonen, T er gjentakintervall og konstanten k gis av:

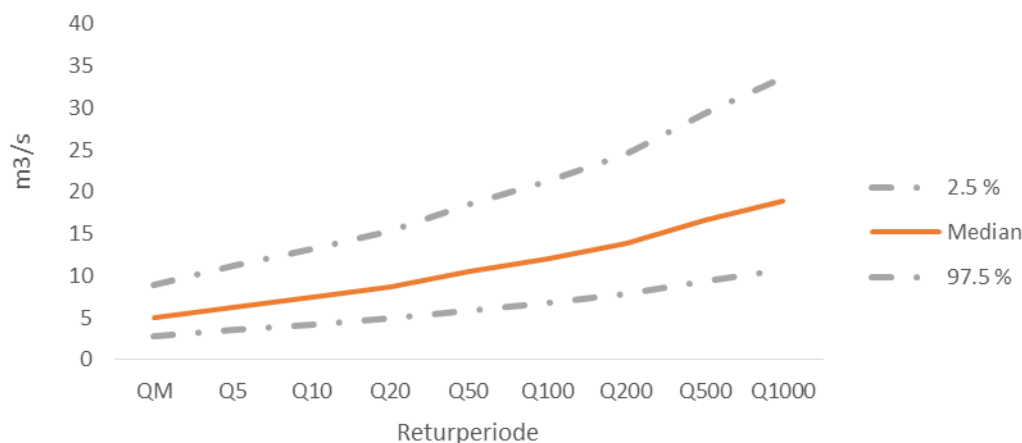
$$k = -1 + 2/[1 + e^{0.391 + 1.54 \cdot A_{SE}/100}] \quad (7)$$

Ligningen (6) viser at økt normalavrenning gir slakere kurve og økt effektiv sjøprosent gir brattere kurve. Generelt gir formelverket at den relative dempningseffekten som følge av effektiv sjøprosent blir mindre (brattere vekstkurve) for de virkelig høye gjentakintervallene (eksempelvis 200-årsflommen), men dette vil også være avhengig av andre forhold som for eksempel utformingen av utløpet.

5.2.1 Usikkerhet ved bruk av formelverket

En av fordelene med denne metoden er at usikkerheten i større grad lar seg kvantifisere enn ved de andre metodene, men det er ingen grunn til å tro at den reelle usikkerheten ved denne metoden er større enn ved de øvrige metodene presentert i kapittel 5.

Det er flere kilder til usikkerhet i bruken av dette formelverket for å estimere vannføringen for en gitt returperiode, og den klart største usikkerhetskilden kommer fra middelflom-regresjonen. Usikkerheten (95 % konfidensintervall) fås ved å gange estimatet av middelflommen med ca. 0,56-1,77. Usikkerheten øker gradvis for de høyere returperiodene. For gjentakintervall over 100 år ligger den på ca. 0,5-2,0 ganger aktuelt flomestimat, Q_T . For illustrasjon av median estimater og usikkerhetsintervall, se Figur 14.



Figur 14. Eksempel på median estimater (middelflom og flommer med høyere gjentakintervall) beregnet med formelverket og tilhørende usikkerhet (95 % konfidensintervall).

Det er tre parametere som inngår i formelverket (areal, normalavrenning, og effektiv sjøprosent), av disse tre er det normalavrenningen det er knyttet størst usikkerhet til. Denne verdien er hentet ut fra avrenningskartet som har vist seg å være bedre i noen områder enn andre. En god vurdering av denne størrelsen kan bedre estimatet av ønsket flomverdi.

5.2.1.1 Formelverkets gyldighetsintervaller

Formelverkets gyldighet er strengt tatt begrenset til de parameterintervaller som inngår i analysegrunnlaget for regresjonsligningene. Disse intervallene er som følger:

Areal: 0,2 – 53 km²

Normalavrenning: 9 – 163 l/s·km²

Effektiv sjøprosent: 0 – 21 %

Dette betyr ikke at formelverket ikke kan benyttes utover disse intervallene, men heller at usikkerheten kan være større i ytterkantene og utover disse. Formelverket er utarbeidet for naturlige uregulerte nedbørfelt, og egner seg følgelig mindre bra til beregninger i urbane og/eller regulerte felt.

5.2.1.2 Vannføringskurve- og samplingsusikkerhet

Målt vannføring er ikke det samme som faktisk vannføring. Når estimert middelflom fra formelverket avviker mye fra målt middelflom kan det grovt sett skyldes to ting. Det ene er avviket mellom regresjonssammenheng og virkelighet, og det andre er avviket mellom målinger og virkelighet. Følgelig er det interessant å forsøke å skille ut (i snitt) hvor stor andel av avvikene som skyldes avvik mellom virkelighet og regresjonssammenheng. Analysen viste at usikkerhet i vannføringskurve og samplingsusikkerhet (forskjellen mellom snittet beregnet fra en kort tidsserie og forventningsverdien) bidro med ca. 40 % av variansen. Dette medfører at når en skal sammenligne formelverket med måldata

er usikkerheten (95 % konfidensintervall) ca. 0,5-2,0 ganger middelflommen og øker til opp mot 0,45-2,2 for høyere gjentakintervall ($> Q_{100}$).

5.3 Flommodellen i PQRUT

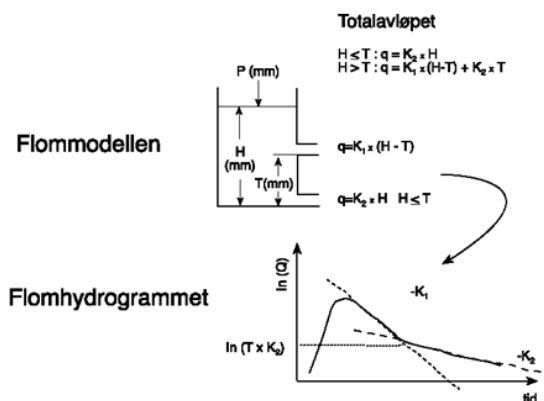
Flommodellen i PQRUT er en nedbør-avløpsmodell utviklet av Andersen m. fl. (1983) til bruk i flomberegninger. Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen (Bergström, 1976) og den beregner avløp fra et fastlagt nedbørforløp. Det finns en snørutine som gjør det mulig å simulere sammensatte regn- og smelteflommer. Ifølge Stenius m. fl. (2014) er det i all hovedsak regn som gir de største flommene i små nedbørfelt og simulering med snørutinen i PQRUT er derfor ikke beskrevet nærmere i denne veilederen. For en mer inngående beskrivelse av snørutinen og bruk av denne se «Retningslinjer for flomberegninger» (Midttømme m. fl., 2011). Modellen inneholder også en markvannsdelt som er viktig ved simulering av hele vårflomforløp og gjør det mulig å definere ulike initialtilstander i feltet (for mer om feltets initialtilstand se kap. 0).

Flommodulen i PQRUT er en lineær karmodell, der avløpet antas å være proporsjonalt med innholdet (Andersen m. fl., 1983). I nedbørfrie perioder er avløpet eksponentielt avtagende. Avløpet beregnes ved å lede nedbøren gjennom karet som er modellert med to utløp (Figur 15). En «åpning i vegg» har som funksjon å forsterke feltets reaksjon når innholdet i karet når en terskelnivå (Midttømme m.fl., 2011). Modellen har følgende tre parametere:

K1: tømmekonstant for øvre nivå [tid-l]

K2: tømmekonstant for nedre nivå [tid-l]

T: skille mellom øvre og nedre nivå [mm]



Figur 15. Skisse av flommodellen i PQRUT og et simulert flomforløp (Andersen m. fl., 1983).

For at modellen skal gi best mulig resultat bør parameterne helst kalibreres med observerte flommer. Dette er i mange tilfeller ikke mulig og derfor er det utviklet ligninger som beskriver parameterne med hjelp av feltparametere (Andersen m. fl., 1983).

$$K1 = 0,0135 + 0,00268 \cdot H_L - 0,01665 \cdot \ln A_{SE}$$

$$K2 = 0,009 + 0,21 \cdot K1 - 0,00021 \cdot H_L$$

$$T = -9,0 + 4,4 \cdot K1 - 0,6 + 0,28 \cdot q_N$$

hvor

H_L : relieff forhold (H_{50}/L_F), [m/km]

H_{50} : høydeforskjell i meter mellom 25 og 75% passasjen på feltets hypsografiske kurve

L_F : feltaksens lengde

A_{SE} : effektiv innsjøprosent, [%]

q_N : midlere spesifikt årsavløp 1961-1990, [$l/s \cdot km^2$]

For felt som har effektiv sjøprosent lik null, settes $A_{SE} = 0,001$.

Likningene som estimerer parameterne K_1 , K_2 og T har sine begrensninger når de benyttes til felt som har parameterverdier utenfor området likningene har blitt utledet for (Andersen m. fl., 1983).

Variasjonsområdet til feltparameterne er som følger:

Relieff forhold, H_L : 1.7 – 72.0 m/km

Effektiv sjøprosent, A_{SE} : 0 – 7.7 %

Normalavrenning, $q_{N,61-90}$: 13 – 105 $l/s \cdot km^2$

I Andersen m. fl. (1983) er det beskrevet hvordan K_1 , K_2 og T kan korrigeres hvis nedbørfeltets parametere er utenfor gyldighetsintervallet til likningene og/eller nedbørfeltet inneholder spesielt mye myr eller snau fjell. Et sammendrag av anbefalte korreksjoner fra Andersen m. fl. (1983) er beskrevet i vedlegg 11.

Konsentrasjonstiden og varigheten for feltet må oppgis i tidsskritt. Definisjon av konsentrasjonstid, tidsskritt og varighet er nærmere beskrevet i kapittel 3.3 og 3.4. Se avsnitt 6.3 for anbefalinger og valg av tidsskritt, konsentrasjonstid og varighet.

Man skal normalt regne med mettet felt ved flomsimulering. For mer om dette se kapittel 0.

5.3.1 Nedbørforløp

For konstruksjon av nedbørforløp finnes ingen fast fasit, men det er en vanlig tilnærming at de beregnede nedbørverdiene, med 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 døgnnedbør med returperiode på 200 år. Men, i mangel av andre gode metoder er dette blitt en normal tilnærming.

I Midttømme m. fl (2011) anbefales det at nedbørforløpet legges symmetrisk om den mest intense nedbørintensiteten hvis varigheten er vurdert som mindre eller lik to døgn. Dersom nedbørforløpet har en varighet på mer enn to døgn anbefales det at den maksimale nedbørintensiteten kommer etter ca. en tredjedel av varigheten.

For valg av nedbørverdier med forskjellig varighet anbefales det å bruke retningslinjene beskrevet i kapittel 2.3.4 for å bestemme dimensjonerende døgn- og timesverdi. Videre kan Figur 26 i vedlegg 5 anvendes for å konstruere resten av nedbørforløpet. For områder som har veldig høy døgnnedbør (eksempelvis Vestlandet og kysten av Nordland) anbefales det generelt å bruke et noe slakere nedbørforløp (se regneeksempel for Flostrand i vedlegg 6), mens det i områder med svært høye timesverdier (eksempelvis Sør- og Sørøstlandet) anbefales et spissere forløp (se regneeksempel for Skornetten i vedlegg 6).

5.3.2 Bre- og snøsmelting samt flomregime

Flomskapende sesong (også kalt flomregime, se kapittel 3.2) er sesongen som vanligvis gir de største flommene. Hvis de største flommene i hovedsak er forårsaket av snøsmelting om våren (eller sommeren i høyfjellsfelt og/eller Nord Norge), sier en at flomskapende sesong er vår og at flomregimet er smelteflommer. Hvis de største flommene i hovedsak opptrer på høsten (flomskapende sesong: høst), er disse som regel regnflommer, men det kan også være en kombinasjon av regn og snøsmelting (flomregime: oftest regn). Siden flomskapende sesong kan ha ulike flomregimer er det viktig å definere både flomskapende sesong og flomregime.

I Stenius m. fl. (2014) er det sett nærmere på flomregimer i små felt. Resultatene viste at for små nedbørfelt er det generelt regnflommer som dominerer. Dette betyr imidlertid ikke at det ikke eksisterer nedbørfelt hvor snøsmelteflommer er dominerende, 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.

Siden denne veilederen har fokus på flomberegninger i små felt er metodene for beregning med snøsmeltebidrag i flommodulen kun kortfattet beskrevet. For mer detaljer anbefales Midttømme m. fl. (2011).

Ved beregning av snøsmelteflommer eller flommer i brefelt må sesongnedbør kombineres med snø-/bresmelting. For regnflommer kan en vurdere om snøforhold bør legges til ekstremnedbøren. Lavlandsfelt ved kysten og andre felt der de største flommene kan forekomme hele året, kan flommer beregnes med årsverdier for ekstremnedbør uten snøsmelting, dersom det er slik at disse er høyere enn sesongverdiene av ekstremnedbør inkludert snøsmelting.

5.3.3 Usikkerhet

Usikkerheten knyttet til bruk av flommodulen i PQRUT skyldes flere forhold. Det er svært sjelden det finnes observert nedbør- og vannføringsdata slik at modellen kan kalibreres, dermed må modellparameterne beregnes med ligninger (gitt i kap. 5.3) som gir større usikkerhet i modellparameterne. Det er også knyttet usikkerhet til bestemmelse av nedbør med ulike gjentakintervall. Dette skyldes både at måleseriene er korte, spesielt for analyse av nedbør med varighet mindre enn et døgn, og at representativiteten av en eller flere punktmålinger gir mer eller mindre riktig arealnedbør for det aktuelle nedbørfeltet.

Videre er det ikke gitt at nedbør med et gitt gjentakintervall medfører en flom med det samme gjentakintervall. Nedbørfeltets tilstand (tørt, fuktig) når nedbøren faller har også stor betydning for størrelsen på vannføringen.

Det vil også være vanskelig å estimere gjentakintervall basert på en kombinasjon av nedbør og snøsmelting. For eksempel kan en flom med returperiode på 200 år forårsakes kun av en nedbørshendelse, P_{200} , eller av nedbør med et mindre gjentakintervall, men da med større andel snøsmelting.

5.4 Rasjonale formel

Den rasjonale formel benyttes ofte til enkle overslag for dimensjonering i veldig små nedbørfelt, og er basert på direkte sammenheng mellom nedbør og avrenningen. Det er ikke anbefalt å bruke formelen til felt større enn 2-5 km² (SVV, 2014), mens det ifølge Lindholm (2008) anbefales at formelen ikke benyttes for felt større enn 0,2-0,5 km².

Avrenningen Q [m³/s] er gitt ved:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

hvor C: avrenningsfaktor [dimensjonsløs]

i: dimensjonerende nedbørintensitet fra IVF kurver [l/s/ha]

A: feltareal [ha], (100 ha = 1 km²)

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 for hele feltet. For veiledende verdier se Tabell 7.

Tabell 7. Tabellen viser veiledende avrenningsfaktor C for nedbørfelt med forskjellig dekke, returperiode 10 år (SVV, 2014)

Overflatetype	Avrenningsfaktor, C
Betong, asfalt, bart fjell, frosset mark	0,6 – 0,9
Grusveger	0,3 – 0,7
Dyrket mark og parkområder	0,2 – 0,4
Skogsområder	0,2 – 0,5

C- verdien bør justeres i forhold til nedbørshendelsens varighet og gjentakintervall det skal beregnes for. For regn med varighet kortere enn en time kan de lavere verdiene i Tabell 7 benyttes, mens for regn med varighet mer enn 3 timer benyttes de høyere verdiene. Ved økende returperioder for nedbørshendelser øker vanligvis metningsgraden i bakken. For å ta hensyn til bakkens initialtilstand (metningsgraden) anbefales en økning av C- verdien. For nedbør med returperiode 10 år eller mer anbefales følgende tillegg på C-verdien (SVV, 2014):

10-25 år: legg til 10%

26-50 år: legg til 20%

51-100 år: legg til 25%

101-200 år: legg til 30%

Dersom det skal beregnes for frosset og/eller islagt område eller vannmettet grunn kan avrenningsfaktor tilsvarende «Betong, asfalt, bart fjell, frosset mark» fra tabell Tabell 7 benyttes (SVV 2014).

Dimensjonerende nedbørintensitet (i) må bestemmes for et gitt gjentakintervall og med en varighet lik feltets konsentrasjonstid (T_c). Nedbørshendelsens intensitet bestemmes ut ifra en IVF- kurve (intensitet-, varighet-, og frekvenskurve) som viser varighet og gjennomsnittlig regnintensitet for et gitt gjentakintervall. Det skal benyttes kvalitetsgodkjente data fra Meteorologisk institutt, disse kan hentes fra Klimaservicesenteret (www.klimaservicesenter.no). Mer om konsentrasjonstid, tidsskritt og varighet se også kapitlene 3.3 og 3.4.

Konsentrasjonstiden (T_c) er tiden det tar for vannet å renne fra nedslagsfeltets ytterste punkt til utløpet/målestedet og varierer avhengig av feltstørrelse og feltegenskaper (som areal, helning og effektiv innsjøprosent). Konsentrasjonstiden for Rasjonale formel kan beregnes med formler som brukes av Statens vegvesen (SVV, 2014).

Konsentrasjonstid for naturlige felt (for eksempel skogsområder, ikke utbygde felt), er gitt ved

$$T_c = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3000 \cdot A_{SE}$$

Observer at Rasjonale formel i hovedsak er utviklet for veldig små felt med tilnærmet null demping. Dette medfører at dersom feltet har høy effektiv sjøprosent kan konsentrasjonstiden, hvis den regnes ut 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} .

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

$$T_c = 0,02 \cdot L^{1,15} \cdot H^{-0,39}$$

hvor

L: lengde av feltet [m]

H: høydeforskjellen i feltet [m]

A_{SE} : effektiv innsjøprosent [%]

5.4.1 Usikkerhet

Den rasjonale formel er basert på direkte sammenheng mellom nedbør og avrenning og vil gi et svært enkelt overslag av avrenningen. Det er også en del usikkerhet knyttet til de ulike faktorene i formelen.

En del av usikkerheten ligger i valg av avrenningsfaktor da denne sjelden er uniform i et nedbørfelt, men vil variere innen feltet og ut ifra hvor vannmettet bakken er ved nedbørens start. Formelen forutsetter også at avrenningskoeffisienten er konstant gjennom hele nedbørshendelsen, og tar dermed ikke hensyn til at grunnen kan bli vannmettet underveis. Subjektive og skjønnsmessige vurderinger definerer avrenningsfaktoren C og kan variere med hensyn til hvem som har gjennomført beregningen.

Formelen forutsetter en konstant intensitet for nedbørshendelsen, og med lik fordeling i hele nedbørfeltet. Korte måleserier for nedbør vil gi usikkert datagrunnlag for lange returperioder, samt at mange stasjoner ikke måler korttidsnedbør om vinteren. Usikkerheten for et gitt felt øker også med avstand fra nedbørmålinger.

Hvis feltet har stor selvreguleringsevne, f.eks. høy effektiv sjøprosent, øker usikkerheten til resultatene siden Rasjonale formelen i hovedsak er utviklet for små felt med liten demping.

6 Valg av beregningsmetode

Flomforholdene i vassdraget er påvirket av klimaet i området og de fysiske og geografiske forholdene i vassdraget. I små nedbørfelt er det som regel regn som skaper flom, særlig nedbørepisoder med høye intensiteter og forholdsvis korte varigheter.

Store nedbørmengder fører likevel ikke alltid til store flommer. De største flommene oppstår som regel når nedbør kombineres med andre ugunstige forhold, så som snøsmelting, mettet mark på grunn av tidligere nedbør, eller nedbør på frossen mark som fører til rask avrenning.

Små vassdrag, hvor det kan være intens nedbør over hele feltet samtidig og hvor vannet bruker kort tid for å nå ned i hovedelven/bekken, har ofte større spesifikke flommer sammenlignet med større vassdrag. Karakteristisk for små vassdrag (særlig urbane felt og felt med mye bart fjell eller andre feltegenskaper som øker avrenningshastigheten) er at flommen stiger raskt og har et spisst flomforløp. I denne typen felt er det vanlig med flommer i forbindelse med konvektiv nedbør om sommeren og høsten. Større felt, der arealutbredelsen av nedbøren er for liten og markvannsunderskuddet vanligvis er stort om sommeren, reagerer vanligvis ikke på slike situasjoner.

Flomutviklingen i et vassdrag er også avhengig av helningsforholdene og høydefordelingen i nedbørfeltet. Vanligvis inntreffer ikke snøsmeltingen samtidig i lavlandet og høyfjellet, men hvis det er liten høydeforskjell i feltet kan snøsmeltingen være tilnærmet like intens i hele feltet samtidig. I bratte felt

samles flomvannet raskere i hovedelven/bekken sammenlignet med flatere nedbørfelt. Dette vil også gjelde for felt med et godt utviklet dreneringsnett i forhold til felt med få bekker og elver.

Antallet, størrelsen og plasseringen av innsjøer i nedbørfeltet (langt opp eller nede i feltet) har stor betydning for flomutviklingen. Innsjøer har en dempende effekt på vannføringen, særlig store innsjøer, innsjøer med trangt utløp og innsjøer langt nede i vassdraget.

Flomforhold ved et stort antall vannføringsstasjoner (både små, mellomstore og store nedbørfelt) i Norge er beskrevet i Pettersson (11-2009 og 3-2009).

Metodene som bør brukes ved en flomberegning kan variere stort fra sted til sted avhengig av mange ulike faktorer. For eksempel er valg av metode avhengig av om det finnes målestasjoner i eller nært vassdraget, datakvaliteten og lengden på tidsseriene, samt hvor sammenlignbar en eventuell målestasjon(er) er med feltet som skal analyseres. Valg av metode må sees i sammenheng mellom datatilgang og feltstørrelse.

I dette kapittelet presenteres anbefalinger for hvordan flomberegninger i et lite uregulerte vassdrag i Norge kan utføres.

6.1 Analyser av observasjoner i vassdrag

Ved estimering av flomverdier i uregulerte felt er observerte data i vassdraget eller fra sammenlignbare vassdrag stort sett å foretrekke. Det avhenger litt av hvilken flomstørrelse som er ønskelig å beregne 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 det ikke finnes representative målestasjoner må andre metoder benyttes, for mer inngående beskrivelse se kapittel 6.2-6.4. En oppsummering av metode valg er også beskrevet i kapittel 6.7.

For mer om representativitet og sammenlignbarhet se kapittel 3.6.

6.1.1 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 kortere enn 10 år anbefales det å beregne middelflommen ut fra observerte data ved korrelasjon mot andre serier og/eller fra flomformler. Det er her ikke funnet grunnlag til å endre på disse anbefalingene.

6.1.2 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 toparameterfordeling³ 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).

³ 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».

Før endelig valg av vekstkurve bestemmes må valget vurderes nøye ut fra ønsket gjentakintervall. Ved beregning av høyere gjentakintervall (gjentakintervall > 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 (Glad m. fl., 2015) vurderes generelt å gi robuste og lite sensitive resultater med tanke på lokale variasjoner og anbefales derfor som hovedregel å benyttes for små felt for høyere gjentakintervall (> 50-100 år).

6.1.3 Forhold mellom kulminasjonsverdier og døgnmiddelverdier

Denne rapporten forutsetter 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 8 og 9 og skiller mellom vår- og høstflommer.

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5} \quad (8)$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5} \quad (9)$$

I likningen over er A nedbørfeltets areal og A_{SE} effektiv sjøprosent. Merk at ligningene (8 og 9) ikke er utviklet spesielt for små felt. 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). Ligningene har en form som kan gi urealistiske verdier, særlig for felt med stor effektiv sjøprosent (Midtømme m. fl., 2011) og ligningene må derfor ikke benyttes ukritisk.

6.2 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 m³/s en stor kilde til usikkerhet. Det anbefales derfor at verdiene fra avrenningskartet verifiseres i forhold til tilgjengelig datagrunnlag fra stasjoner i regionen (mer om sammenlignbarhet/representativitet i kap. 3.6) og korrigeres i forhold til en eventuell observert tendens i regionen. Dersom 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 første valg. 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 en tidsserie og sannsynligheten å få med virkelig ekstreme hendelser blir da mye større. Det må også påpekes at det naturligvis også er avheng 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 ekstra oppmerksomhet på at resultatene virker rimelige.

6.3 Flommodulen i PQRUT

Der det finnes tilgjengelige IVF-kurver som oppfyller behovene (for eksempel varighet, gjentakintervall 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).

6.3.1 Varighet og konsentrasjonstid

Nedbørens totale varighet bør velges ut fra den varighet som gir størst tilløpsflom ved et gitt gjentakintervall på nedbøren. Ut fra resultater presentert i Stenius m. fl. (86-2015) anbefales varigheten å settes til minst 24 timer. For større felt (> 10-20 km²) og/eller felt med høy selvreguleringsevne 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 IVF-kurver direkte. For mer informasjon om IVF-kurver se kapittel 2.3.2.

6.3.2 Tidsskritt

Det anbefales å bruke tidsskritt 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 tidsskritt på en time får med seg den reelle kulminasjonsverdien. Det er da anbefalt å bruke et tidsskritt på finere tidsoppløsning enn time om mulig.

6.3.3 Intensitet-Varighet-Frekvenskurver

For anbefalinger av valg av IVF-kurver se kapittel 2.3.2.

6.3.4 Feltets initialtilstand

I følge Midttømme m. fl. (2011) vil det normalt være riktig å bruke mettet felt som initialtilstand ved flomsimulering for små felt. Det anbefales normalt at full metning brukes som initialtilstand ved flomsimuleringer hvis det ikke finnes spesifikke hendelser/observasjoner som modellen skal/kan kalibreres mot.

6.4 Rasjonale formel

Hvis feltarealet er mindre enn ca. 5 km²⁽⁴⁾ og har liten demping kan Rasjonale formel med fordel brukes for å få et raskt overslag og/eller som tillegg til andre metoder. I Stenius m. fl. (2015) er Rasjonale formel 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 formel passet sammen med resultatene fra de andre metodene. Det gis dermed ikke noen nye anbefalinger i forhold til bruk av Rasjonale formelen i forhold til feltstørrelse (Stenius m. f., 2015).

⁴ 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.

6.4.1 Avrenningsfaktoren C

Resultatene fra Rasjonale formel er svært følsom for valg av C-verdi⁵ 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. C-verdien bør som regel ligge mellom 0,4-0,6, men for svært slake felt med tykt jordsmonn (eksempelvis jordbruksarealer) kan lavere verdier vurderes. Tilsvarende kan det være aktuelt å vurdere høyere verdier i svært bratte nedbørfelt dominert av tette flater (eksempelvis snaufjell).

6.4.2 Intensitet-Varighet-Frekvenskurver

For anbefalinger av valg av IVF-kurver se kapittel 2.3.2.

6.5 Mikrofelt

Mikrofelt er nedbørfelt som her defineres 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 (Stenius & Glad, 2015). 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 denne kategorien. Som følge av det svært begrensede datagrunnlaget i denne kategorien er det ekstra utfordrende å vurdere rimeligheten av resultatene fra flomanalyser. Det antas at det er store lokale og regionale variasjoner i spesifikke flommer, men det er per dags dato ikke nok grunnlag til å si noe mer om dette. Ut fra erfaringer fra fagpersoner som jobber med flomanalyser i mikrofelt i Norge anbefales det at resultater der den spesifikke 200-års flommen underskrider 2000 l/s·km² må sjekkes veldig nøye før et slikt resultat godtas eller alternativt øker verdien til 2000 l/s·km².

De høyeste observerte spesifikke flomverdiene, ut fra utvalget som er brukt i NIFS prosjektet dp. 5.1 (Stenius m. fl., 2015, kart se vedlegg 0), finner en i Hordaland, Telemark og Nordland. Disse verdiene varierer fra litt over 4000 l/s·km² til ca. 5300 l/s·km². Feltarealet varierer fra 3,3 – 37,3 km². Se også vedlegg 0 og 0. Ut fra en samlet vurdering av observerte spesifikke flomverdiene og erfaringer fra fagpersoner som jobber med flomanalyser i mikro felt i Norge anbefales det at et resultat der den spesifikke 200-års flommen overskrider 5000 l/s·km² må sjekkes spesielt nøye før en godtar en slik analyse. Det anbefales også at resultater diskuteres med mer erfarne kolleger/fagfolk og hvis en er i tvil kontakte hydrologisk avdeling ved NVE for assistanse.

Det er viktig at det blir satt fokus på flere målinger av vannføring i mikrofelt for å bedre grunnlaget for flomberegninger samt for å øke prosessforståelsen.

⁵ 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 middelværdi for hele feltet, men for sammensatte felt kan man beregne avrenningsfaktor for delfelt og beregne en midlet avrenningsfaktor for hele feltet.

6.6 Klimaendringer

I henhold til NVEs klimastrategi (Hamarsland, 2015) skal det tas hensyn til et endret klima for tiltak/beslutninger med lang levetid. For eksempel ved å ta hensyn til endringer i flomstørrelser ved arealplanlegging og bygging/ombygging av viktig infrastruktur.

I rapporten «Klima i Norge 2100» (Hanssen Bauer m. fl., 2015) som omhandler forventede klimaendringer i Norge frem mot år 2100 og Lawrence (2016) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til ventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer i ulike vassdrag i Norge.

6.6.1 Flom i små vassdrag

Klimaframskrivningene tilsier at det vil bli hyppigere og større flommer i små vassdrag i hele landet. For alle små vassdrag med nedbørfelt som reagerer raskt på nedbør må en regne med minst 20 % økt flomvannføring i løpet av de neste 50 – 100 år (Lawrence, 2016).

«Klima i Norge 2100» er skrevet for å gi grunnlagsinformasjon for klimatilpasning i Norge. I rapporten er det blant annet sett på forventet endring i nedbørintensitet med 3 timers varighet. Avhengig av hvilket utslippsscenario som legges til grunn og hvilket gjentakintervall man ser på, forventes det en økning (middelverdi i Norge) i 3-timers nedbør på ca. 20 og 40 %. Resultatene for endringer i flomstørrelser viser at det er store lokale variasjoner. For små nedbørfelt forventes det at økt nedbørintensitet vil medføre større flommer i hele landet. På bakgrunn av dette anbefales det at det legges til et klimapåslag for alle flomberegninger med gjentakintervall 200 år på minimum 20 %, og at det gjøres individuelle vurderinger for om det bør legges til 40 %.

6.6.2 Stormflo og havnivå

Klimautviklingen gir et stigende havnivå. I rapporten «Sea Level Change for Norway» (Simpson m. fl., 2015) gis forventet havnivåstigning, hvor det er tatt hensyn til landhevning, for alle kommuner i hele landet. Nivået for 200-års stormflonivå er også oppgitt. Anbefalte klimapåslag på 200-års stormflonivå er under utarbeidelse. I tillegg må det gjøres egne vurderinger for bølge- og vindoppstuvning.

6.7 Oppsummering - valg av beregningsmetode

Det anbefales at flomberegner først skaffer seg en oversikt over feltet som skal analyseres, definerer feltparametere, får oversikt over tilgjengelige målestasjoner og samler inn eventuell annen relevant informasjon som kan være av betydning for analysen. For beskrivelse av feltparametere se kapittel 2.1, hydrologiske- og metrologiske data er beskrevet i kapitlene 2.2 og 2.3 samt vedlegg 5 og vedlegg 7-10. Arbeidsgangen for en flomberegning er også beskrevet i punktform i vedlegg 4 og det er utarbeidet regneeksempler (fra tre ulike felt) som er presentert i vedlegg 6.

Neste skritt er å utføre selve beregningene. Her nede følger en oppsummering av beregningsmetoder og anbefalinger som er beskrevet i kapittel 6 «Valg av beregningsmetode».

For områder med data anbefales følgende:

1. Vurder den spesifikke middelvannføringen, (Q_N), for eksempel i forhold til middelvannføringen estimert fra stasjoner i regionen. Middelvannføringen kan da eventuelt justeres ut fra disse resultatene.
2. 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 korrigere 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.

3. Vekstkurven fra formelverket vurderes som robust og lite sensitiv for lokale variasjoner og anbefales derfor som regel som første valg. Dersom det finnes lange tidsserier med god kvalitet (50-100 år eller mer) som vurderes som representative (mer om representativitet se kap. 3.6), 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.
4. Sammenlign med andre metoder: Flomverdiene kan i tillegg sammenlignes med andre metoder som flommodulen i PQRUT og/eller den Rasjonale formelen. Anbefalinger, for eksempel med tanke på feltstørrelser, for de to nevnte metodene se kapittel 6.3 og 6.4.

For områder med dårlige eller ingen data anbefales følgende:

Formelverket anbefales for å få et raskt og enkelt estimat av middelflommen og vekstkurven.

For valg av middelflom 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 stasjonene er direkte 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 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:

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 en mener er mest trolig. Dette estimatet kan også være en vektet middelflomsverdi av to eller flere resultat fra de ulike metodene. Eventuelle erfaringstall fra regionen kan også brukes til å vurdere de endelige estimatene. Hvordan spesifikke flomverdier varierer i ulike landsdeler i Norge (erfaringstall) er beskrevet i vedlegg 9.

7 Evaluering av flomberegninger

Det anbefales at resultatene fra flomberegningen gjennomgår en evaluering med tanke på usikkerheter og hvor stort utslag dette kan gi på resultatene.

7.1 Sammenligning med andre beregninger og observasjoner

Størrelsen av flommen(e), beregnet som spesifikk vannføring (q_T), kontrolleres mot erfaringstall fra tidligere utførte flomberegninger hvis slike finnes. 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. Også den kontrollen utføres for spesifikke flomverdier.

Beregnete dimensjonerende flommer i m^3/s (Q_T) bør sammenlignes med observerte flomverdier, hvis slike finnes i vassdraget. Størrelsen av Q_T bør stå i rimelig samsvar med observerte flommer. Merk at ved sammenlikning med observerte flommer kan det være usikkerhet og feil i de observerte verdiene.

7.2 Vurdering av størrelsen på usikkerheten

Usikkerheten ved en flomberegning er vanskelig å kvantifisere. En ikke uvanlig måte å tilnærme seg problemet på er å si noe generelt om usikkerheten til flomberegningen, for eksempel at usikkerheten til flomberegningen er liten, middels eller stor. En slik tilnærming sier egentlig bare noe om usikkerheten til en flomberegning sammenlignet med usikkerheten til en annen flomberegning, og lite om hvor stor usikkerheten faktisk er. For noen av «delene» av flomberegningen er det forholdsvis enkelt å kvantifisere usikkerheten, mens for andre «deler» er det svært utfordrende. For eksempel hvis formelverket for små felt benyttes kan usikkerheten tallfestes (kap. 5.2.1), hvis en Bayesiansk tilnærming på fordelingskurven ved flomfrekvensanalyse benyttes kan usikkerheten på vekstkurven estimeres. Det går også ved hjelp av statistikk for eksempel å beregne usikkerhet til vannføringskurven mm, men å tallfeste den totale usikkerheten (hvis en ikke bruker formelverket eller noen lignende metoder) er i beste fall veldig utfordrende og tidkrevende.

Kvaliteten ved en flomberegning for dammer skal klassifiseres etter en skala fra 1-5 (Midttømme m. fl., 2011). Klassifiseringen er ikke et mål på kompetansen til den som utfører flomberegningen, eller på nøyaktigheten ved utførelsen, men en vurdering av det tilgjengelige hydrologiske datagrunnlaget og hvordan det er benyttet i flomberegningen. Flomberegner bør, så langt det er mulig, undersøke kvaliteten på de hydrologiske og eventuelt metrologiske data som er benyttet.

Denne tilnærmingen er her brukt på en lignende måte, men i stedet for å klassifisere flomberegningen på en skal fra 1-5 så er det brukt følgende inndeling: usikkerheten til flomberegningen vurderes som liten, middels, stor eller svært stor. Kriteriene⁶ for hvilken usikkerhet flomberegningen skal vurderes etter er samlet i Tabell 8.

⁶ Kriteriene er nesten identiske med kriteriene i Midttømme m. fl. (2011), men klasse 3 og 4 fra Midttømme er slått sammen til det som her er definert som «stor usikkerhet».

Tabell 8. Vurdering av størrelsen på usikkerheten til flomberegningen.

Usikkerhet	Kriterier
Liten	Godt hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i vassdraget.
Middels	Brukbart hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget.
Stor	Brukbart hydrologisk datagrunnlag i kombinasjon med store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området alternativt begrenset hydrologisk datagrunnlag.
Svært stor	Begrenset hydrologisk datagrunnlag og store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området.

7.3 Følsomhetsanalyse

Ved beregning av flommer med ulike gjentakintervall kan det i mange tilfeller være nyttig å gjøre en følsomhetsanalyse. En følsomhetsanalyse er spesielt viktig å gjøre når datagrunnlaget for flomberegningen er usikkert, det kan da være viktig å legge til en sikkerhetsmargin ved dimensjonering av aktuelt tiltak. En slik analyse kan utføres ved at middelflommen skaleres opp og ned med for eksempel 10 %, og så beregne hva det gir for utslag på aktuelt gjentakintervall. Alternativt kan vekstkurven skaleres opp eller ned med for eksempel 10 %. Ved bruk av en nedbør-avløpsmetode kan en følsomhetsanalyse utføres ved å endre på varigheten og/eller skalere nedbørverdiene opp og ned med for eksempel 10 %. Det kan også være aktuelt å variere modellparameterne, K1, K2 og T i flommodulen i PQRUT eller C-verdien i Rasjonale formel.

Resultatene fra følsomhetsanalysen har spesielt stor betydning for konstruksjoner der konsekvenser vurderes som særlig stor ved mulige endringer i flomstørrelser.

8 Referanser

Andersen, J.H., Hjukse, T., Roald, L., Sælthun, N.R. (1982): Hydrologisk modell for flomberegninger. NVE Rapport 2-1983.

Beldring, S., Roald, L.A., Voksø A. (2002): Avrenningskart for Norge. NVE Rapport nr. 2-2002.

Cunnane, C. (1989): Statistical distributions for flood frequency analysis. World Metrological Organization, Operational Hydrology Report No. 33.

DSB, (2011). Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging. Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2011.

Dyrørdal, A.V., Lenkoski, A., Thorarinsdottir, T.L., and Stordal, F., 2015: Bayesian hierarchical modeling of extreme hourly precipitation in Norway. *Environmetrics*, 26(2), p.89-106.

Etatsprogrammet "NATURFARE – Infrastruktur, Flom og Skred" (NIFS), 2012-2015, www.naturfare.no.

Fergus, T., Høydal, Ø. A., Johnsrud, T.-E., Sandersen, F. og Schanche, S. (2011): Skogsveger og skredfare – veileder. Skogbrukets Kursinstitutt.

Flaum- og skredfare i arealplanar. NVE Retningslinjer 2-2011. Revidert 22. mai 2014.

Førland, E. J. (1992). Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier (in Norwegian). KLIMA, met.no. Report 21/92

Førland, E. J., Tveito, O. E. (1997): Temperatur og snødata for flomberegning. DNMI Rapport nr. 28/97 KLIMA.

Førland E., Mamen J., Grinde L., Dyrørdal A. V., Myrabø S. (2015). Dimensjonerende korttidsnedbør.

Glad, P.A., Reitan, T., Stenius, S. (2015): Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt nedbørfelt. NVE Rapport 8-2015.

Hamarsland, A.T., Grønsten, H.A., Halmrast, K., Hisdal, H., Jensen, T., Melvold, K., Magnussen, I., Midttømme, G. H., Molkersrød, K., Nelson, G. N., Pedersen, T. B., Sommer-Erichson, P. (2015). NVEs Klimatilpasningsstrategi 2015-2019. NVE-Rapport 80-2015.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015.

Klimahjelperen. En veileder hvordan ivareta samfunnssikkerhet og klimatilpasning i planlegging etter plan- og bygningsloven (2015). Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2015.

Lawrence, D. og Hisdal, H., (2011). Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE-Report 5-2011.

Lawrence, D. (2016). Klimaendring og fremtidige flommer i Norge, NVE Rapport (til trykk).

Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby L. (2008): Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport 162-2008.

Mamen, J., R.Benestad & J.E.Haugen, 2011: Analysis of short term precipitation in Norway 1967-2010. Met.no Report 15/2011 Midttømme, G. H., Pettersson, L. E., Holmqvist, E., Nøtsund, Ø., Hisdal, H., Siverstgård, R. (2011): Retningslinjer for flomberegninger. NVE Retningslinjer 4-2011.

Middtømme, G. H. (red.). (2006): Små dammer, Veileder for planlegging, bygging og vedlikehold. NVE Veileder 2-2006.

Norum, D.T., Gundersen S., Middtømme G.H., Østvold H.M. (2014): Veileder til damsikkerhetsforskriften - Klassifisering av vassdragsanlegg. NVE Veileder 3-2014.

Pettersson L.E. (2014): Aktive vannføringsstasjoner i Norge. NVE rapport 71-2014.

Pettersson L.E. (2009): Flomforhold i Nord-Norge. NVE rapport 11-2009.

Pettersson L.E. (2009): Flomforhold i Sør- og Midt-Norge. NVE rapport 3-2009.

Simpson M. J. R., Nilsen, E. Ø., Ravndal, O. R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, P- K., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M., Vestøl, O. (2015). Sea level change for Norway. NCCS report no. 1/2015.

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.

Stenius, S., Glad, P.A., (2015): Anbefale metoder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE Rapport 97-2015.

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.

Vasskog, K., Drange, H., Nesje, A., (2009). Havnivåstigning. Estimer for framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner (2009). Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2009.

Vedlegg 1 – Dataprogrammer og databaser ved Hydrologisk avdeling

Mer inngående beskrivelse av dataprogrammene, databasene og arkivene kan fås fra Hydrologisk avdeling, NVE.

Programmer:

HYDRA II	Databasesystem og analyseprogramvare for hydrologiske og meteorologiske data ved Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og energidirektorat. Bygget primært for intern bruk i NVE, men også mulig for andre å leie tilgang.
HYSOPP	HYdrologisk Stasjon og serie OPplysninger. Dataprogram for håndtering av deler av innholdet i Hydra II-basen som har opplysninger om hydrometriske stasjoner, vannføringskurver, feltparametrer, magasintabeller, høyde på skala m.m., dvs det aller meste av metadata, men ikke selve tidsseriene.
DAGUT	Dataprogram med presentasjon, analyse og statistikk av hydrologiske og meteorologiske data med tidsskritt døgn og lengre.
FINUT	Samme som DAGUT, men for data med tidsskritt døgn og kortere.
TABLEREPORT	Dataprogram som gir oversikt over dataserier (serielengde, hull m.m.) som oppfyller valgte kriterier (NVEs tjenesteområder, vassdragsområder, dataparametere m.m.).
VFTAB	Tabeller og figurer over vannføringskurver for hydrometriske stasjoner. I tillegg mulighet for oversikt over vannføringsmålinger som ligger til grunn for aktuell kurve.
OVERLOP	Beregning av tabeller for vannføring over ulike typer og sammensetninger av overløp.
VFKURVE3	Beregning/tilpasning av vannføringskurve basert på sammenhørende vannstands- og vannføringsverdier.
CHECK_HOMOGENITY	Sjekk om vannføringsserier er homogene. For eksempel kan årsmaksima homogenitetssjekkes.

Arkiver:

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, se vedlegg 0) til HYDAG.
HYKVAL	Arkiv for lagring av alle kontrollerte og kvalitetsvurderte data (primærkontroll). Dataene leses først in på HYTRAN, deretter kontrolleres (primær kontroll, se vedlegg 0) de før overføring til HYKVAL.
HYTRAN	Transaksjonstabell for alle data som leses in 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 2-3 årene. Data fra sanntidsarkivet overføres til HYTRAN med normalt ca. 10 døgns forsinkelse. Data på sanntidsarkivet kan ha aksessbegrensning.

KOMPLETT

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

Logisk arkiv (ikke fysisk lagret). Findata der isreduserte dager fjernes ut fra en sammenligning med data på døgnoopløsning fra HYDAG og HYKVAL.

VIRTUELT ISREDUSERTE FINDATA

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

Vedlegg 2 – Kontroll av hydrologiske data

Kontroll av hydrologiske data utføres i to steg: *primærkontroll* på bakgrunn av HYTRAN findataserier (ikke kontrollerte originaldata) som etter kontroll lagres på HYKVAL (kontrollerte data med fin/variabel tidsoppløsning) og *sekundærkontroll* av HYDAG_T døgnmiddelserier (døgnavledninger av HYKVAL-data) som etter kontroll og korreksjon lagres på HYDAG (kontrollerte, kompletterte og korrigerte døgndata).

Primær kontroll

Hensikten med primærkontrollen er å rette opplagte feilmålinger og registreringer. Dette kan for eksempel være feil på måleutstyr (eks. trykksensor, flottør) eller feilkilder relatert til stasjonsbesøk (eks. pumping av kum/kommunikasjonsrør, utskiftning av utstyr mm).

Merk at i primærkontrollen blir ikke eventuelle hull fylt inn og eventuell isoppstuvning blir ikke korrigert.

Sekundær kontroll

I sekundærkontroll er de viktigste kontrollelementene isreduksjon, d.v.s. korrigering for isoppstuvning om vinteren og komplettering av manglende data.

Vedlegg 3 – Benyttede parameterer

Vannføring

Q	absolutt flomverdi	[m ³ /s]
q	spesifikk flomverdi	[l/s pr. km ²]
q _N	middelvannføring	[l/s pr. km ²]
Q _{mom}	momentanflom	[m ³ /s] eller [l/s pr. km ²]
Q _{døgn}	døgnmiddelflom	[m ³ /s] eller [l/s pr. km ²]
Q _M	middelflom	[m ³ /s] eller [l/s pr. km ²]
Q _T	flom med gjentakintervall T år	[m ³ /s] eller [l/s pr. km ²]
Q ₅₀₀	flom med gjentakintervall 500 år	[m ³ /s] eller [l/s pr. km ²]
Q ₁₀₀₀	flom med gjentakintervall 1000 år	[m ³ /s] eller [l/s pr. km ²]
Q _{PMF}	påregnelig maksimal flom	[m ³ /s] eller [l/s pr. km ²]

Nedbør

P _N	midlere årsnedbør	[mm]
P _T	nedbør med gjentakintervall T år	[mm]
P ₅	nedbør med gjentakintervall 5 år	[mm]
P ₅₀₀	nedbør med gjentakintervall 500 år	[mm]
P ₁₀₀₀	nedbør med gjentakintervall 1000 år	[mm]
PMP	påregnelig maksimal nedbør	[m]

Feltparametere

A	nedbørfeltets areal	[km ²]
A _i	nedbørfeltets areal til innsjøen i	[km ²]
a _i	innsjøen i's overflateareal	[km ²]
A _{SE}	effektiv sjøprosent (benevnes S _{eff} i NEVINA)	[%]
A _{SF}	snaufjellprosent	[%]
F _L	feltaksens lengde	[km]
E _L	hovedelvas lengde forlenget til vannskillet	[km]
E _G	hovedelvas gradient	[m/km]
H _L	relieff-forhold	[m/km]
H ₅₀	høydeforskjell mellom 25- og 75- % passasjen på feltets hypsografiske kurve	[m/km]
Δh	total høydeforskjell langs hovedelva	[m]

Øvrige parameterer

T _c	konsentrasjonstid	[timer]
C	avrenningsfaktor i Rasjonale formel	[-]
K1	tømmekostant for øvre nivå i NVEs flommodell	[tid-1]

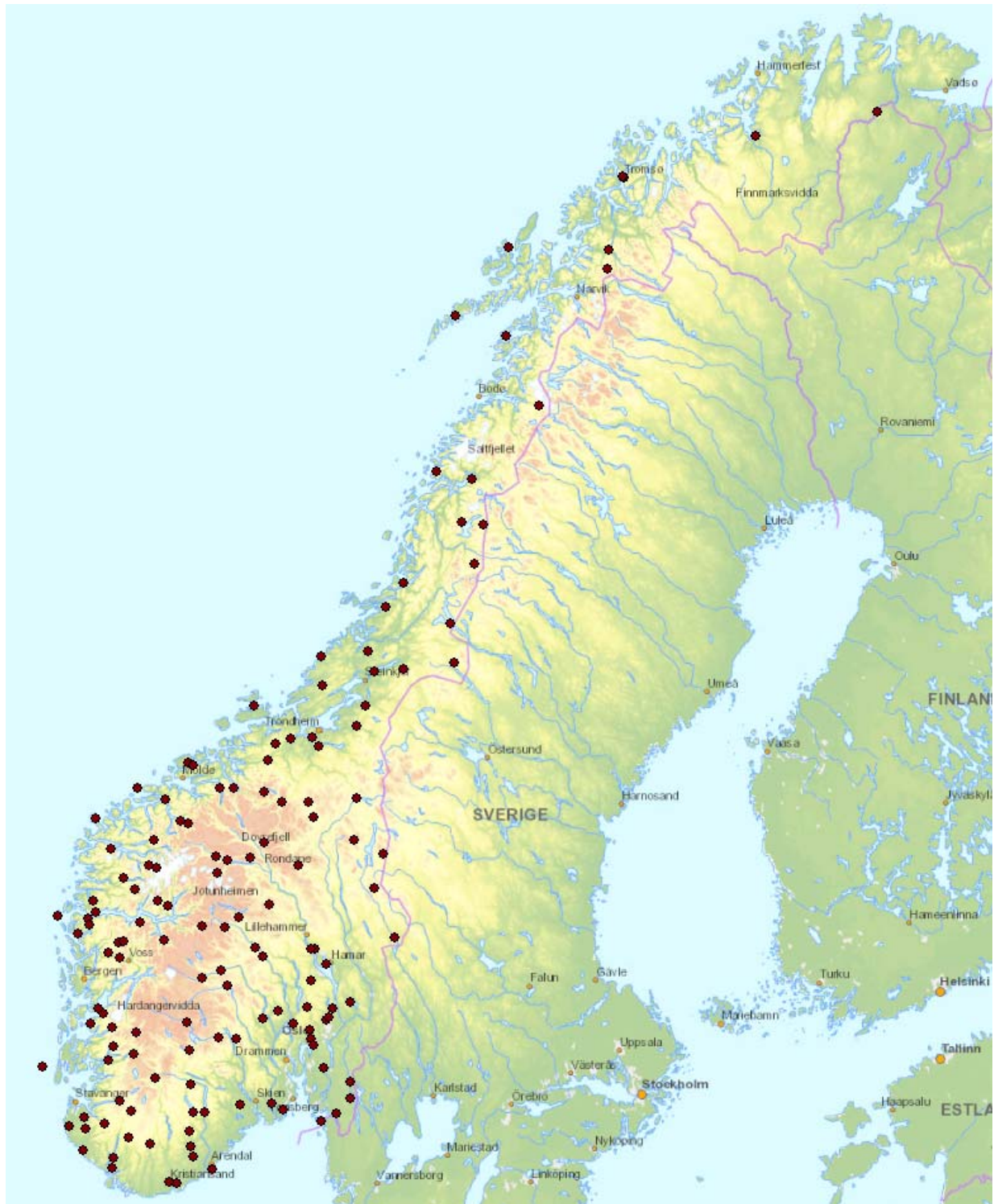
K2	tømmekonstant for nedre nivå i NVEs flommodell	[tid-1]
T	skille mellom øvre og nedre nivå i NVEs flommodell	[mm]
H	nivå i flommodulen i PQRUT	[mm]

Vedlegg 4 – Arbeidsgang for flomberegning

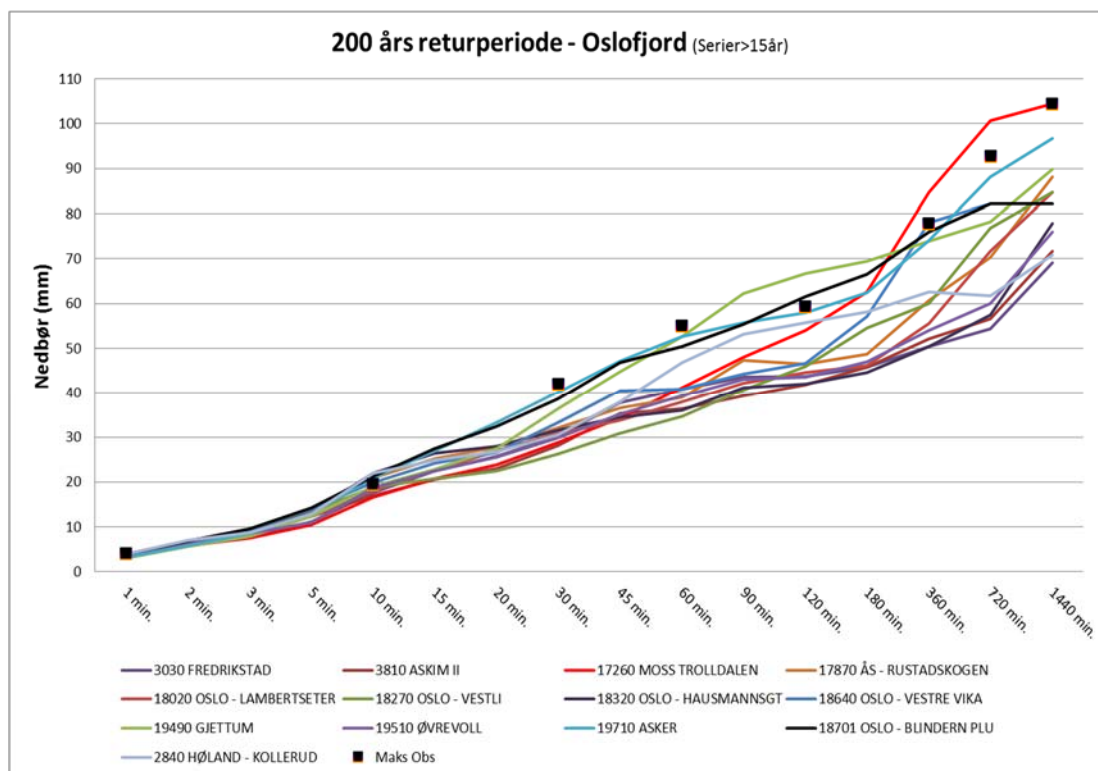
Ved flomberegninger må man vanligvis gjennom følgende trinn:

1. Fremskaffe nødvendig grunnlagsmateriale for å definere oppgaven. F.eks. hvilket sted/steder skal det utføres flomberegninger for, hvilken størrelse/gjentaksintervall på flommen er ønsket, med mere.
2. Bestem feltparametere (www.nevina.no).
3. Velg ut aktuelle målestasjoner (NVE Atlas) og dataserier (Hydra II).
4. Kontroller datakvaliteten på tidsseriene som skal brukes.
5. Vurder hvilke metoder som er egnet basert på bla. datagrunnlag, kvaliteten til datagrunnlaget, feltparametere og ønsket gjentaksintervall.
6. Estimer flomverdier med formelverk.
7. Utfør flomfrekvensanalyser (hvis det finnes aktuelle stasjoner/dataserier).
8. Ved bruk av flommodulen i PQRUT (nedbør-avløpsmodell):
 - Bestem flommodellparametere.
 - Bestem hvilket tidsskritt og hvilken varighet som skal legges til grunn.
 - Skaffe til veie ekstremnedbør (og eventuelt grunnlag for beregning av snøsmelting) og konstruer nedbørforløp.
9. Ved bruk av Rasjonale formel (nedbør-avløpsformel):
 - Bestem C-verdien.
 - Bestem konsentrasjonstiden.
 - Skaffe til veie ekstremnedbørverdier.
10. Sammenlign og vurder beregnede flomstørrelser kritisk i forhold til resultater fra de ulike metodene som er brukt.
11. Kontrollere om de beregnede flomstørrelsene er rimelige. Sammenlikne med resultater fra andre aktuelle beregninger i samme vassdrag og/eller i regionen, hvis det finnes slike.
12. Velg endelige flomstørrelser ut fra en samlet faglig vurdering.
13. Utfør en følsomhetsanalyse ved behov.
14. Vurdere effekten av klimaendringer og legg til et eventuelt klimapåslag.

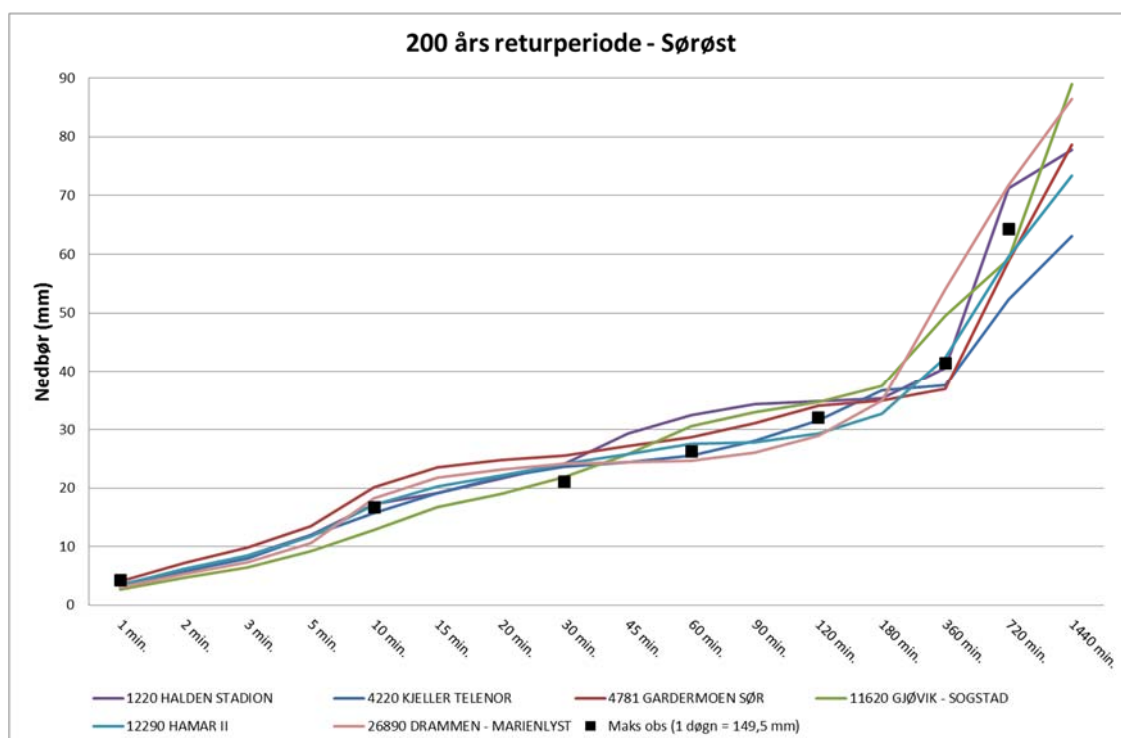
Vedlegg 5 – Nedbør



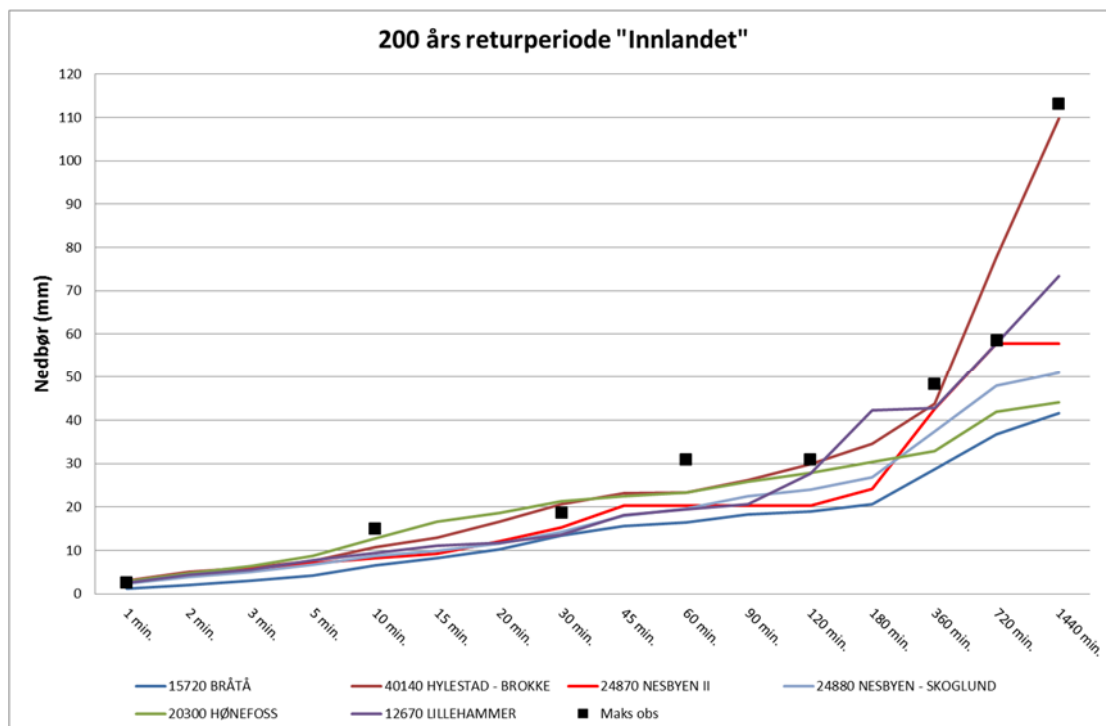
Figur 16. Viser beliggenheten til de manuelle målestasjonene som har lange tidsserier med døgnoppløsning.



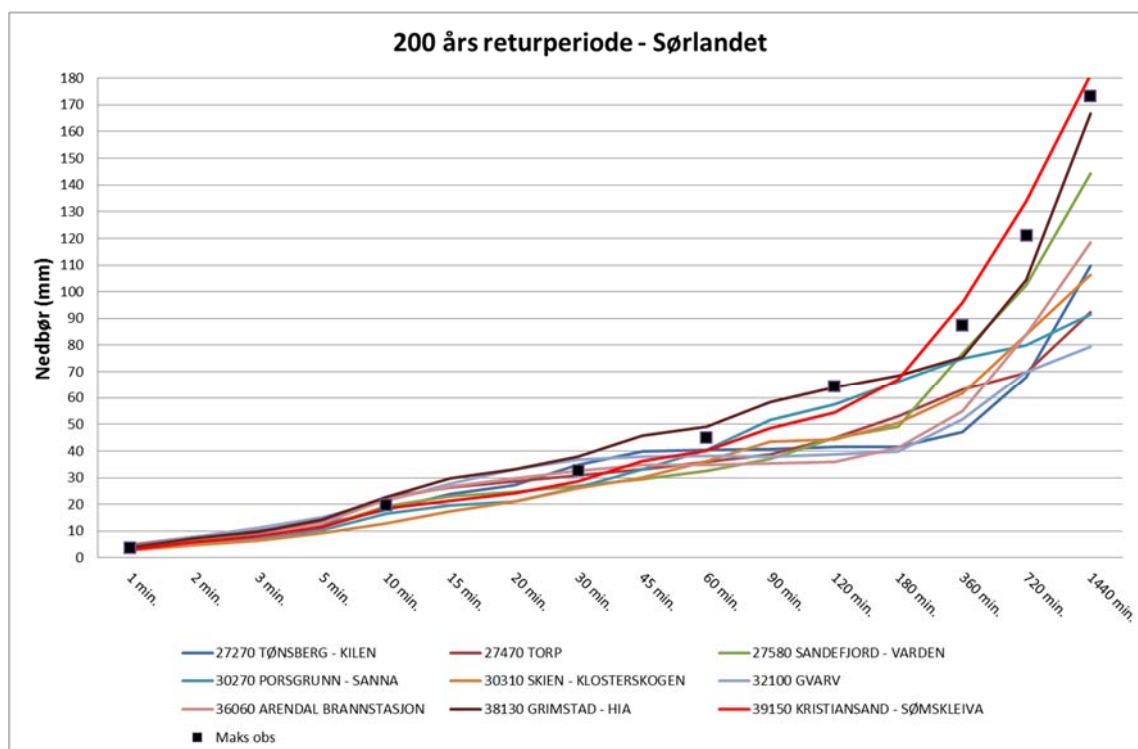
Figur 17. IVF-verdier for 200 års returperiode for 13 stasjoner i Region 1: «Oslofjord»



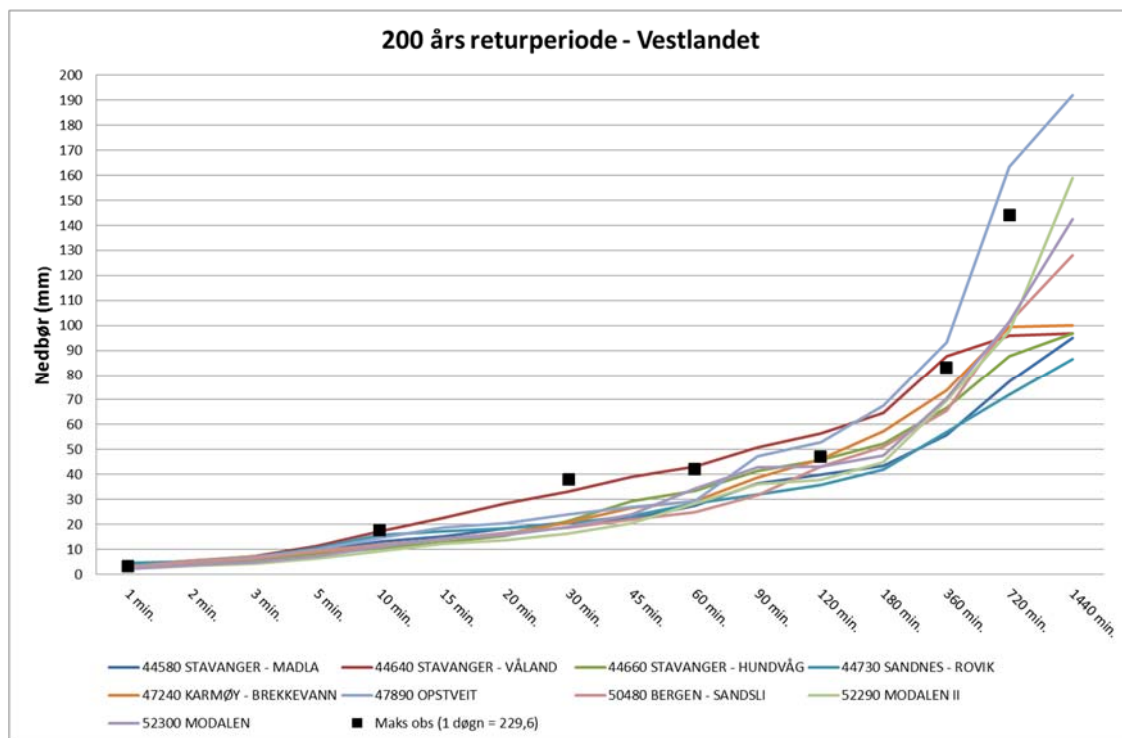
Figur 18. IVF-verdier for 200 års returperiode for 6 stasjoner i Region 2: «Østlandet SØ»



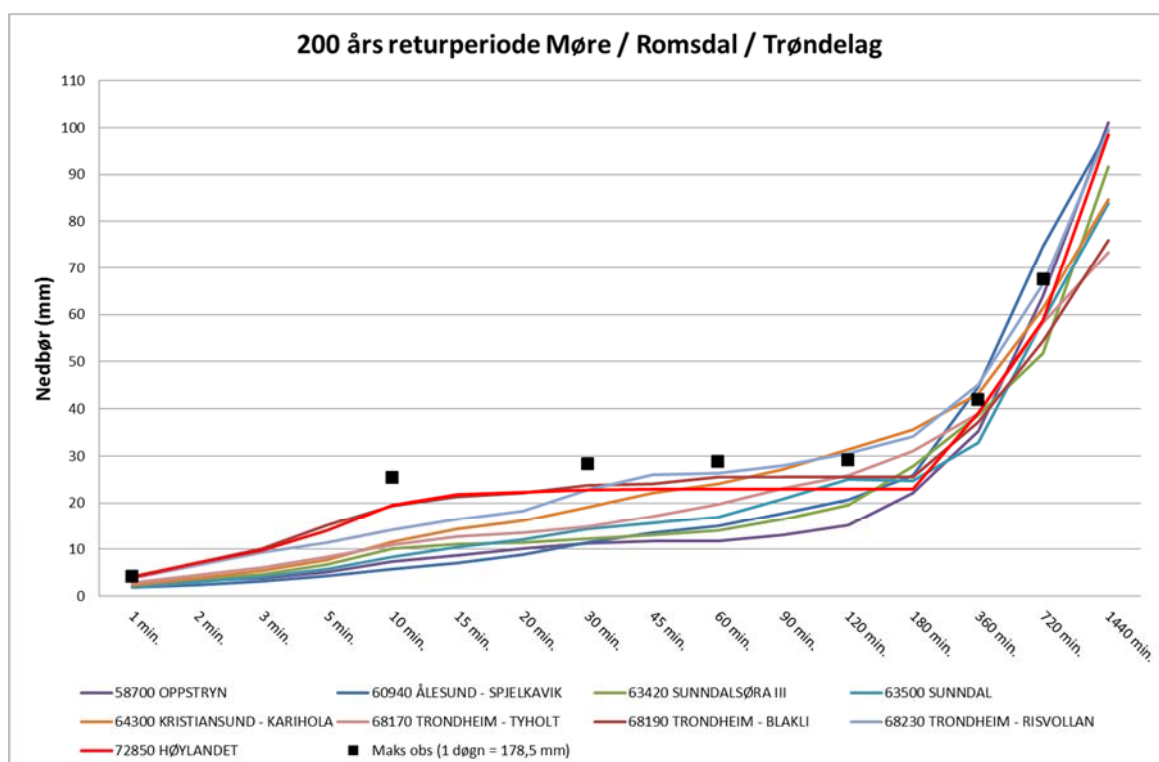
Figur 19. IVF-verdier for 200 års returperiode for 6 stasjoner i Region 3: «Innlandet»



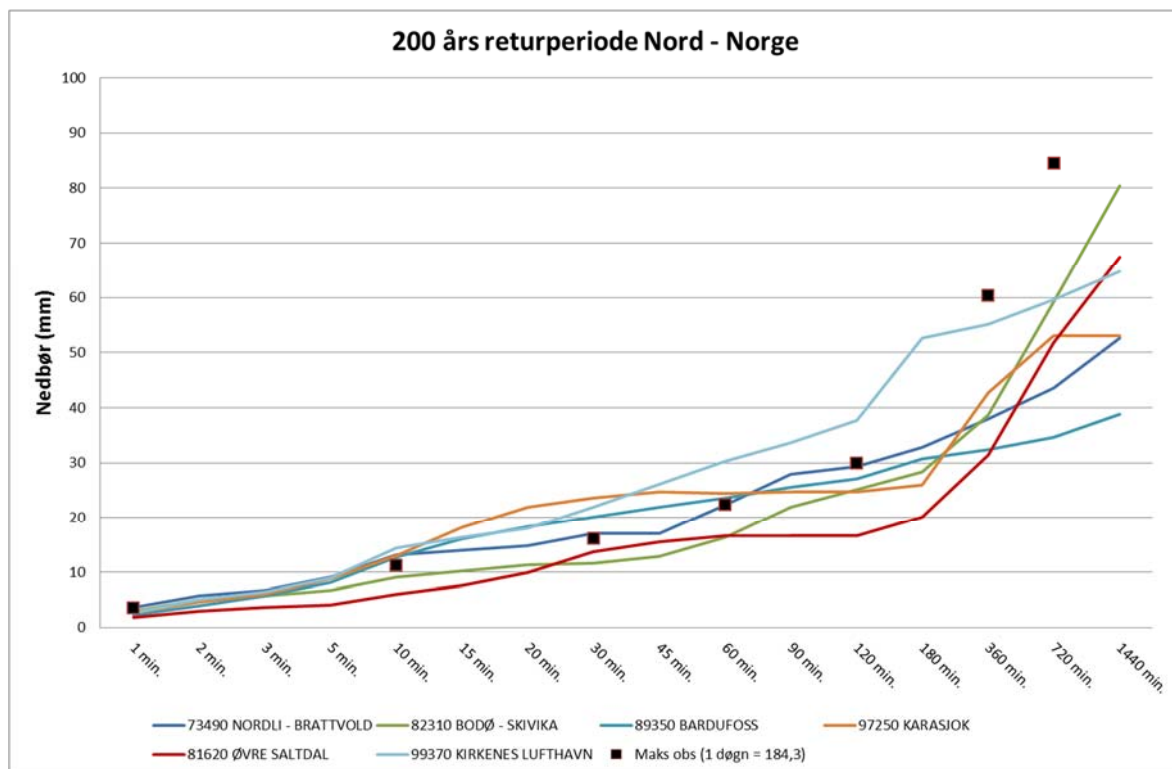
Figur 20. IVF-verdier for 200 års returperiode for 9 stasjoner i Region 4: «Sørlandet»



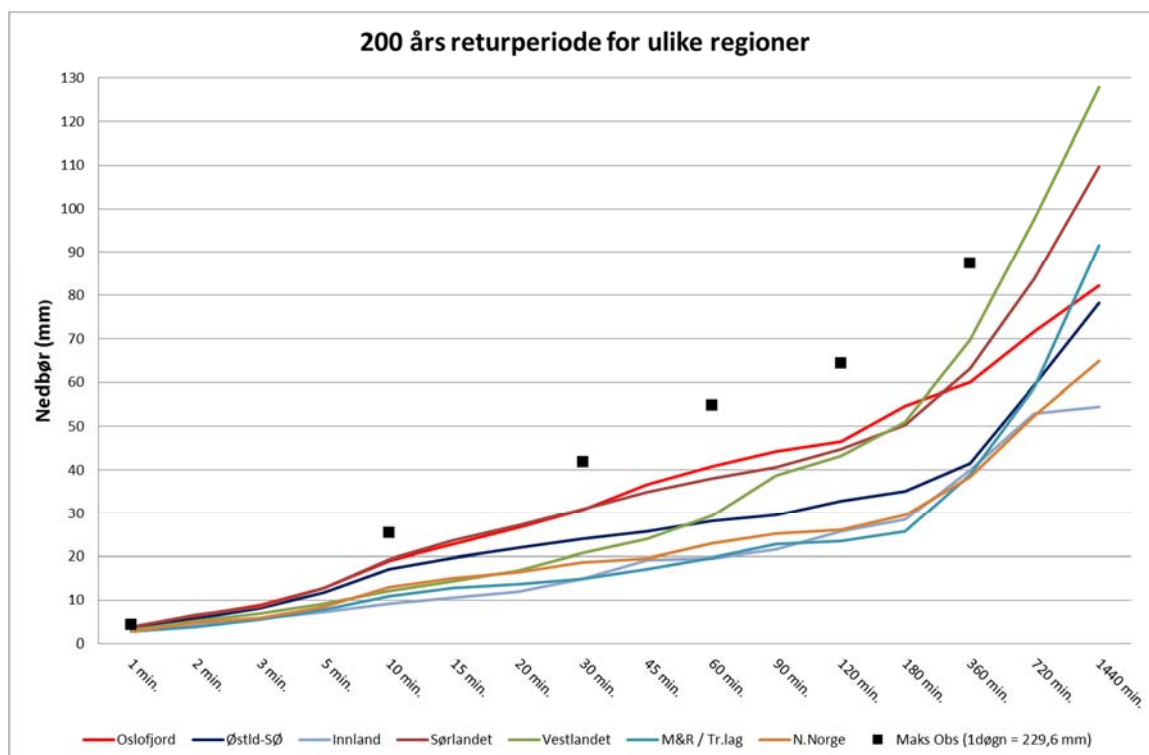
Figur 21. IVF-verdier for 200 års returperiode for 9 stasjoner i Region 5: «Vestlandet»



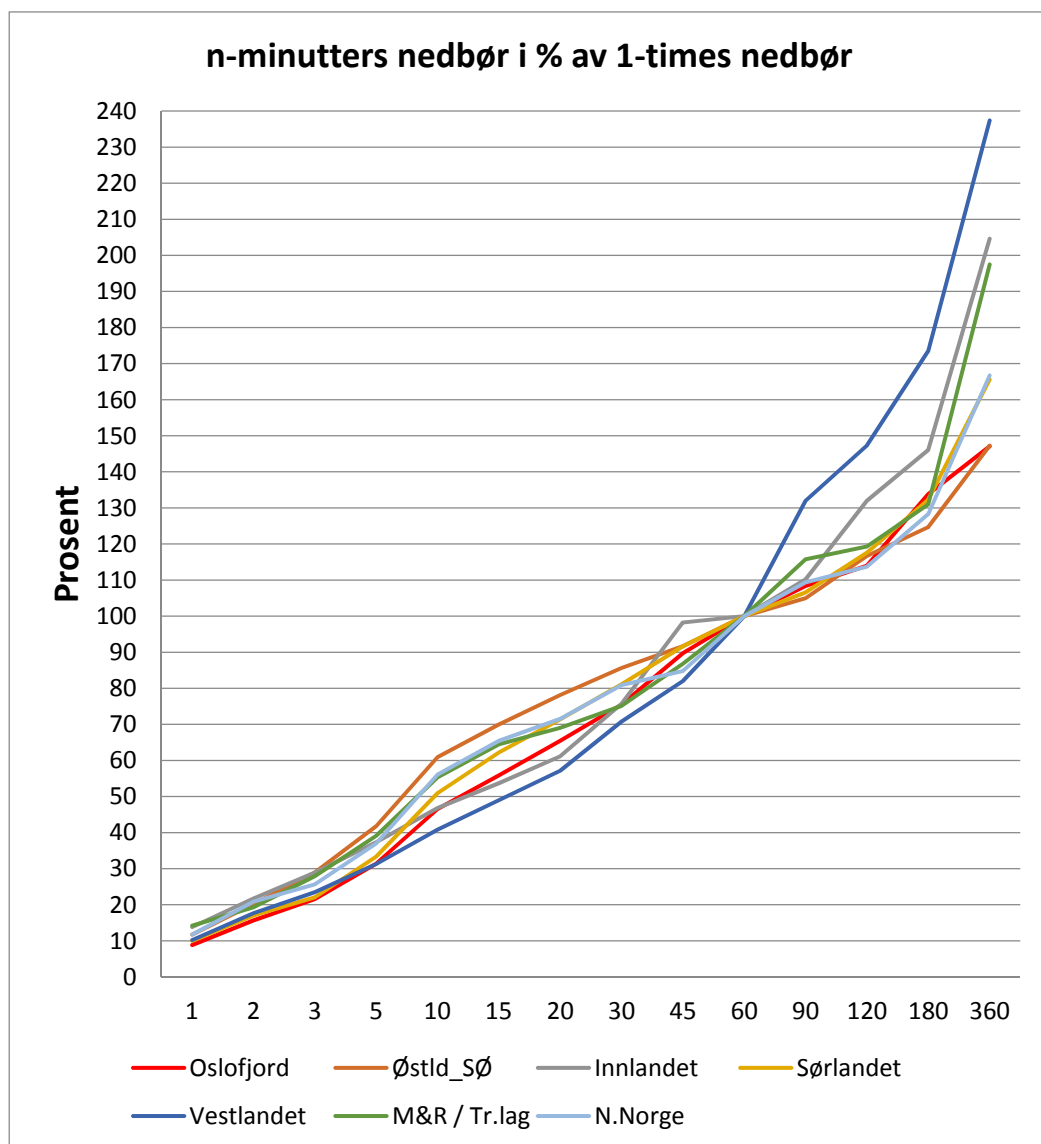
Figur 22. IVF-verdier for 200 års returperiode for 9 stasjoner i Region 6: «Møre/Romsdal/ Trøndelag»



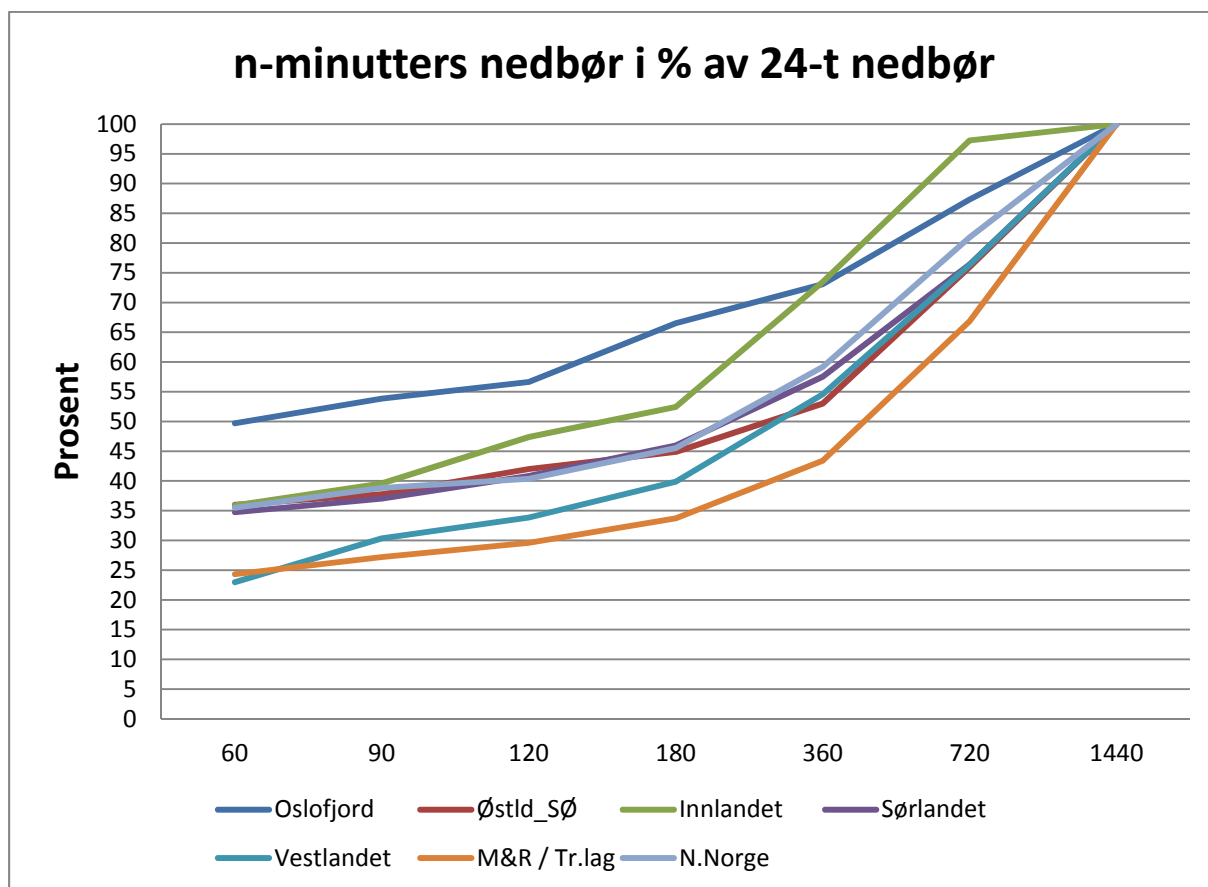
Figur 23. IVF-verdier for 200 års returperiode for 6 stasjoner i Region 7: «Nord-Norge»



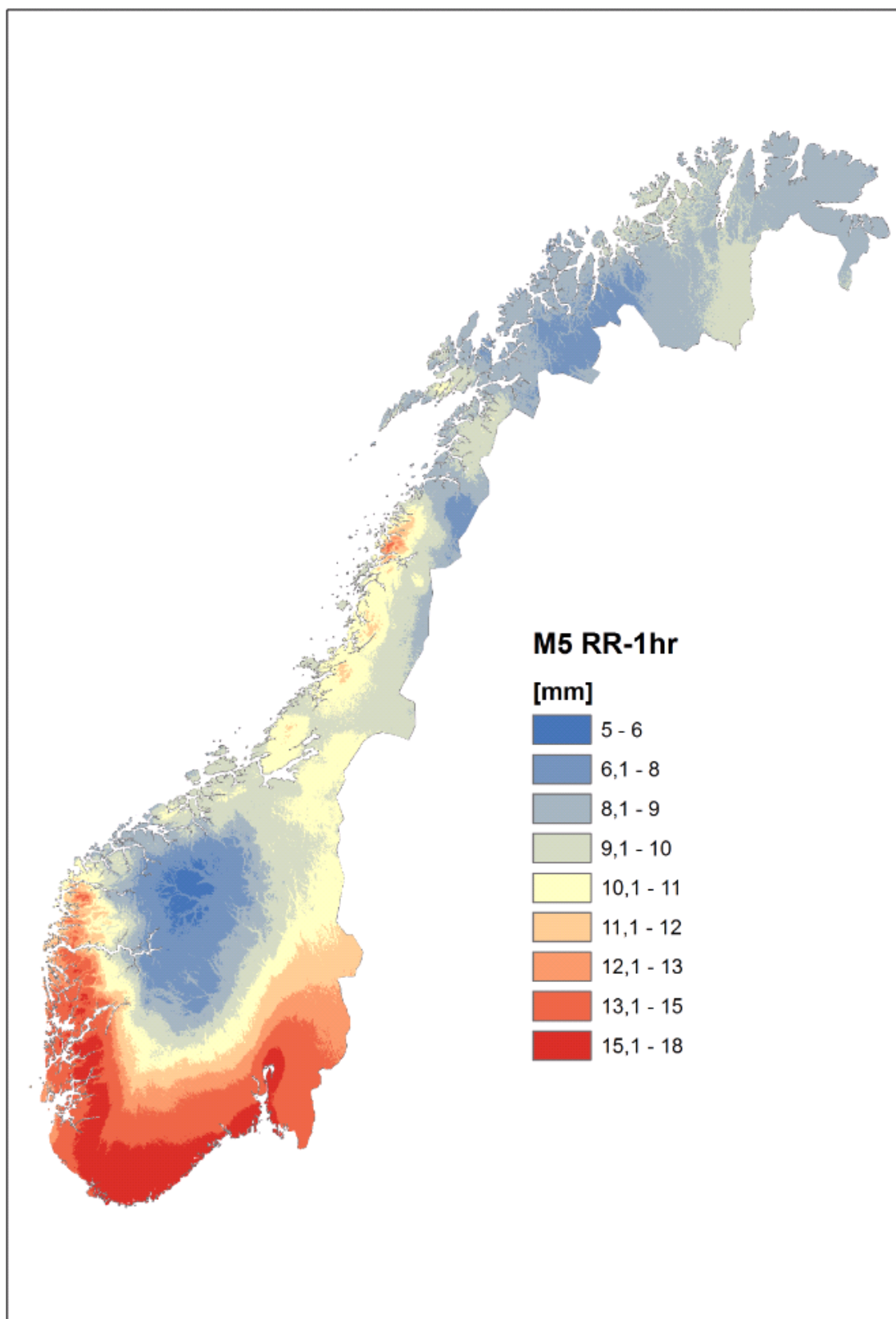
Figur 24. Medianverdi av nedbørintensitet med 200 års returperiode for ulike regioner. Svart firkant viser høyeste registrerte nedbørverdi for norske målestasjoner.



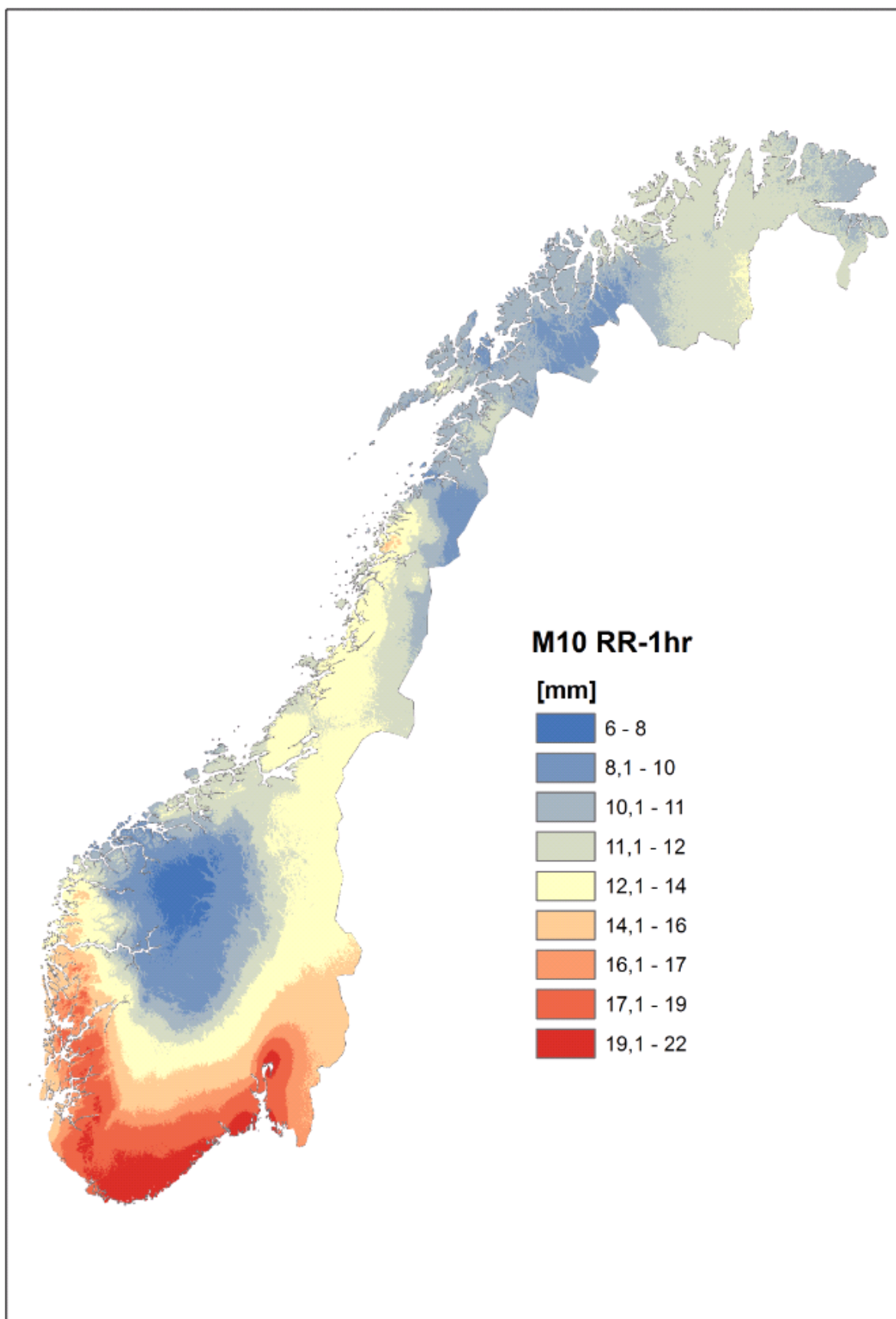
Figur 25. 200-års nedbør i løpet av 1-360 minutter i prosent av nedbør i løpet av 60 minutter. Kurvene er basert på de regionvise medianverdiene i Figur 12.



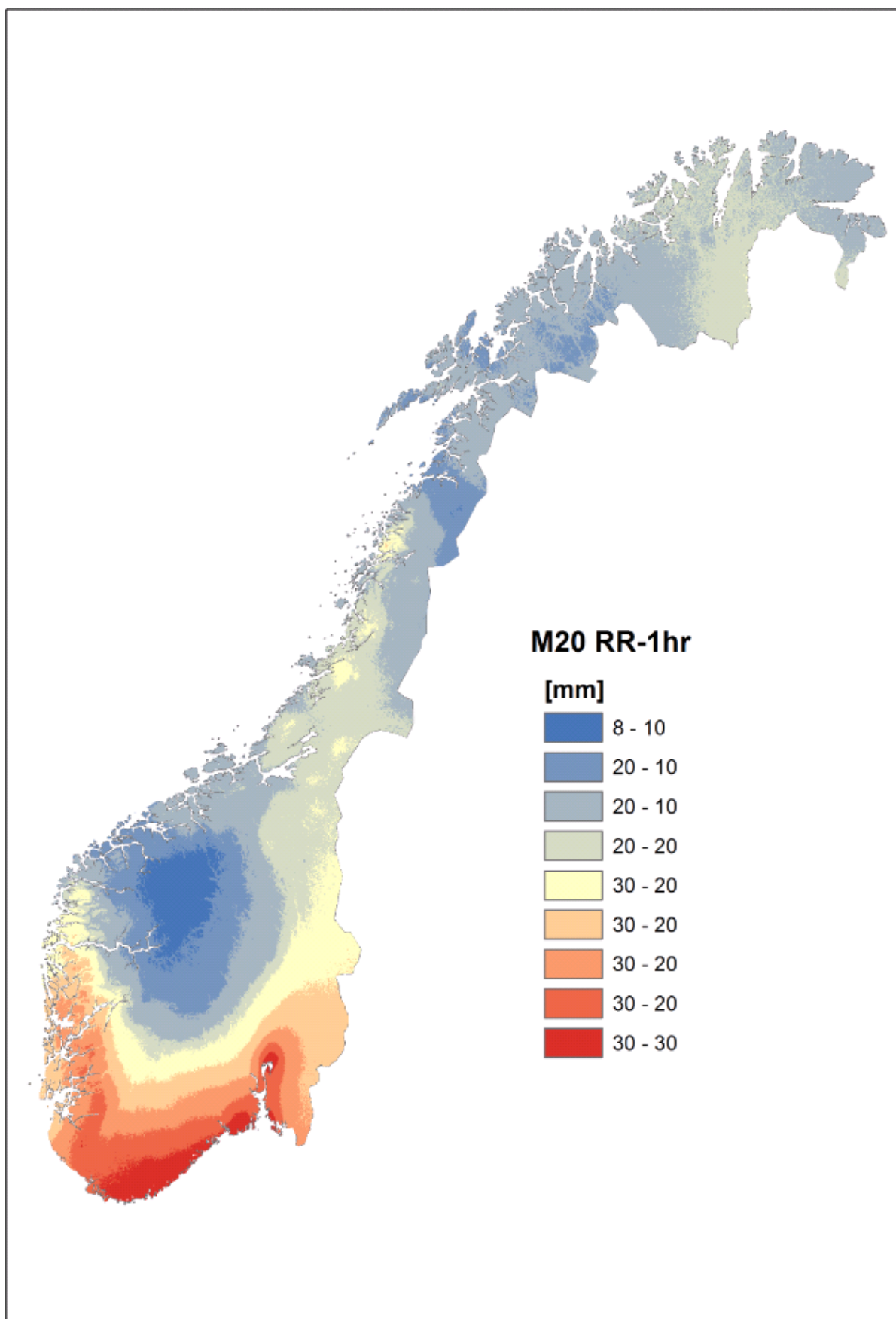
Figur 26. Nedbør i løpet av 1 time – 1 døgn i prosent av nedbør i løpet av 1 døgn (1440 minutter). Kurvene er basert på de regionvise medianverdiene i Figur 12.



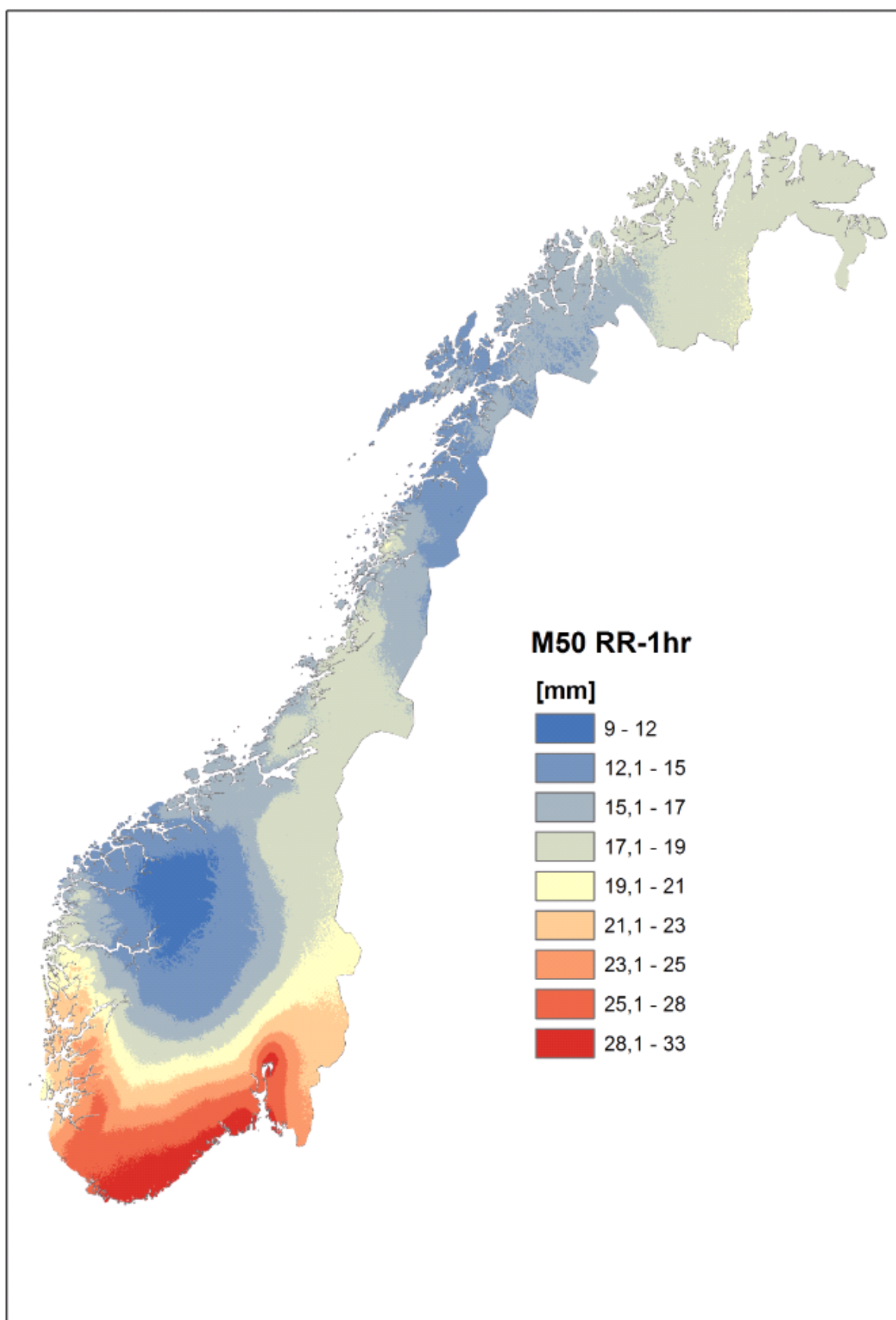
Figur 27. Geografisk fordeling av 1-times nedbør med 5-års returperiode (Dyrødal m. fl., 2015)



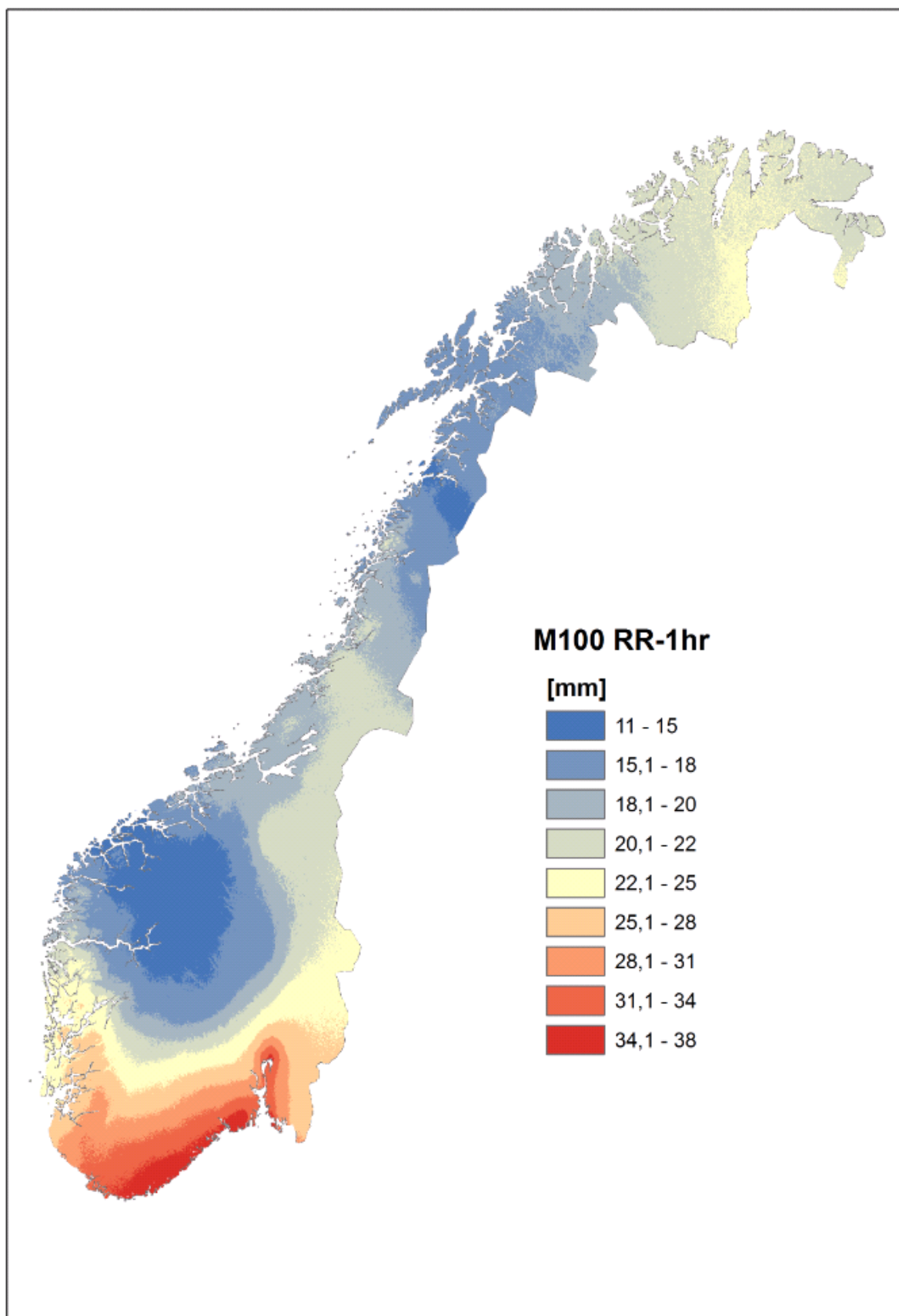
Figur 28. Geografisk fordeling av 1-times nedbør med 10-års returperiode (Dyrødal m. fl., 2015)



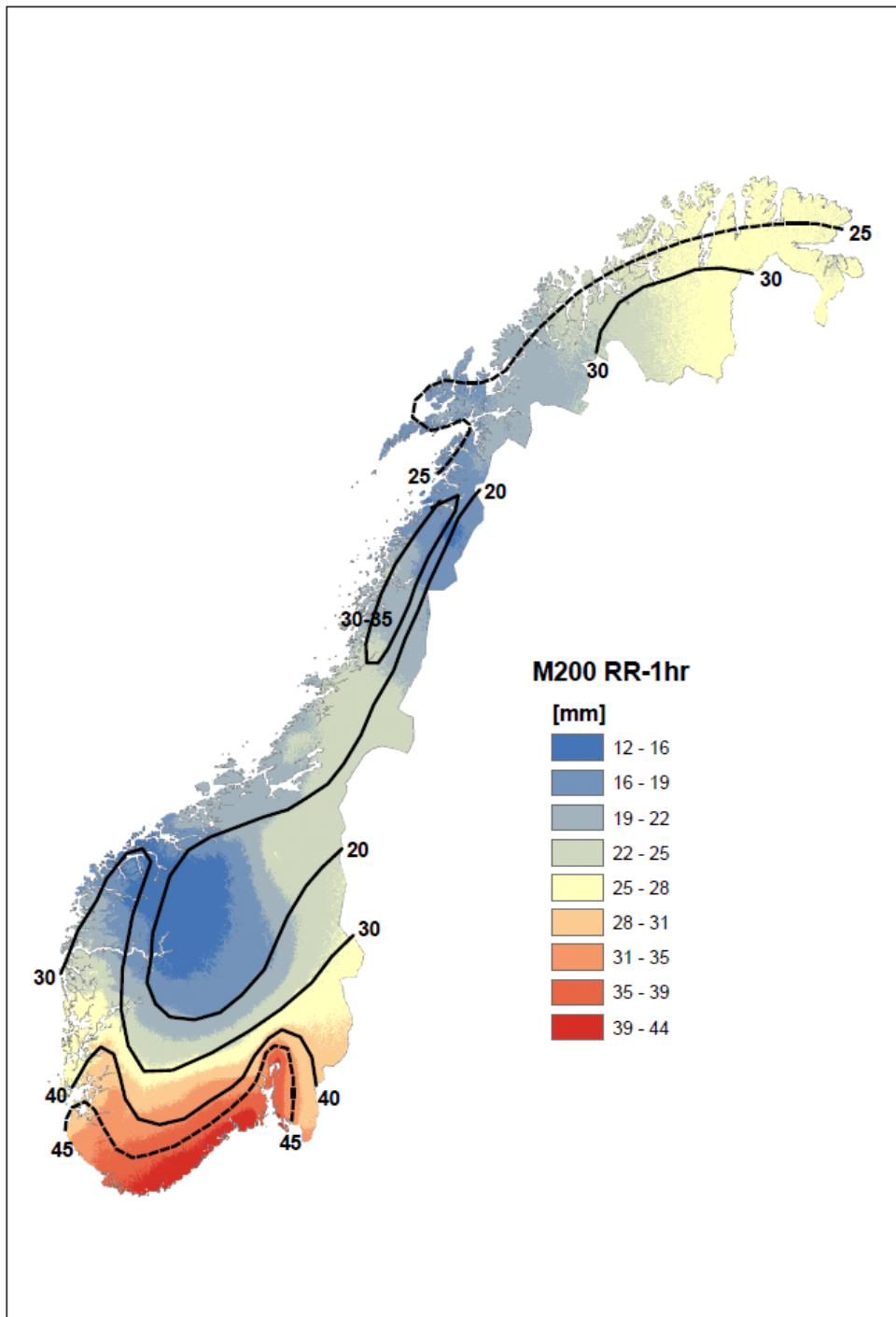
Figur 29. Geografisk fordeling av 1-times nedbør med 20-års returperiode (Dyrødal m. fl., 2015)



Figur 30. Geografisk fordeling av 1-times nedbør med 50-års returperiode (Dyrrdal m. fl., 2015)

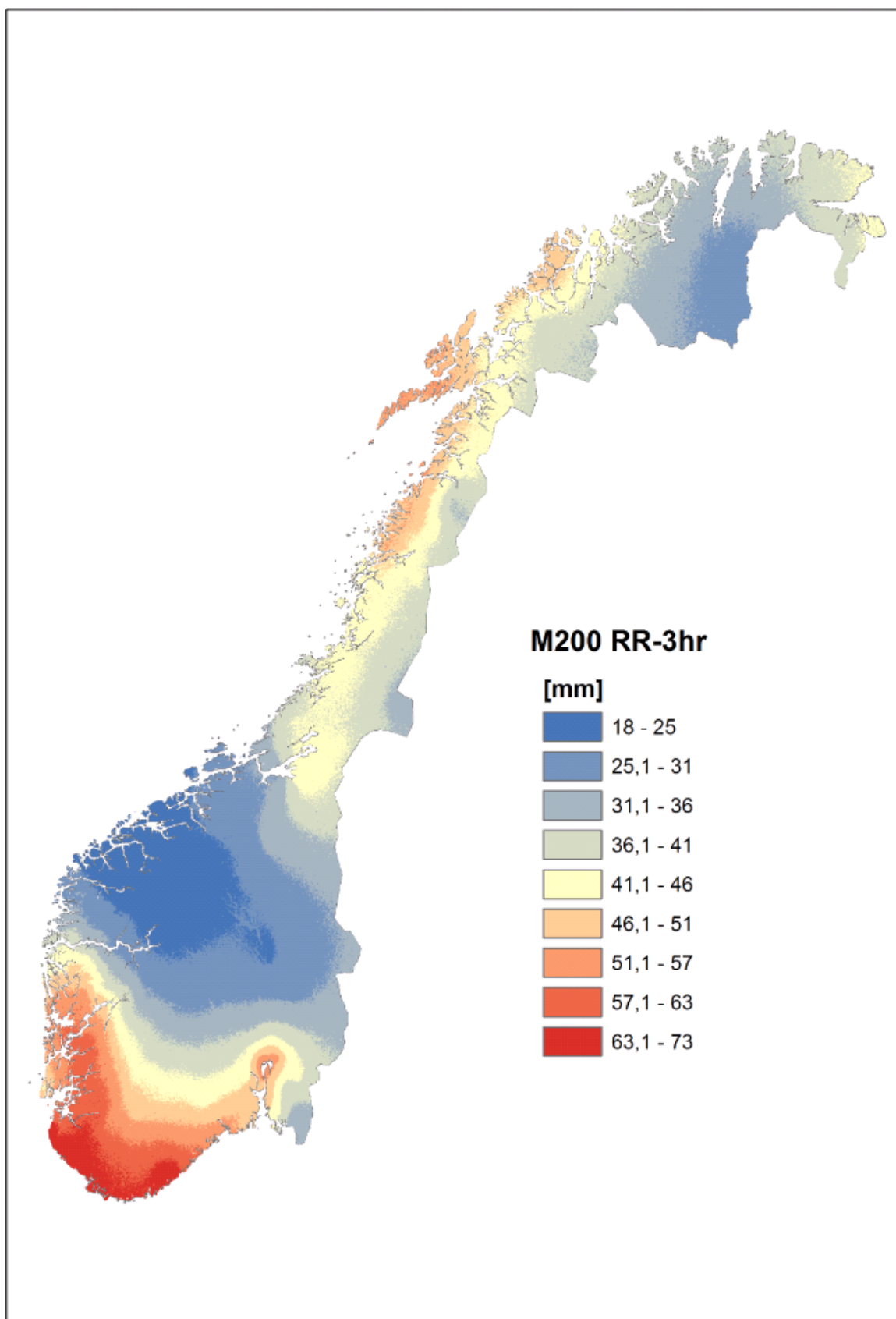


Figur 31. Geografisk fordeling av 1-times nedbør med 100-års returperiode (Dyrødal m. fl., 2015)

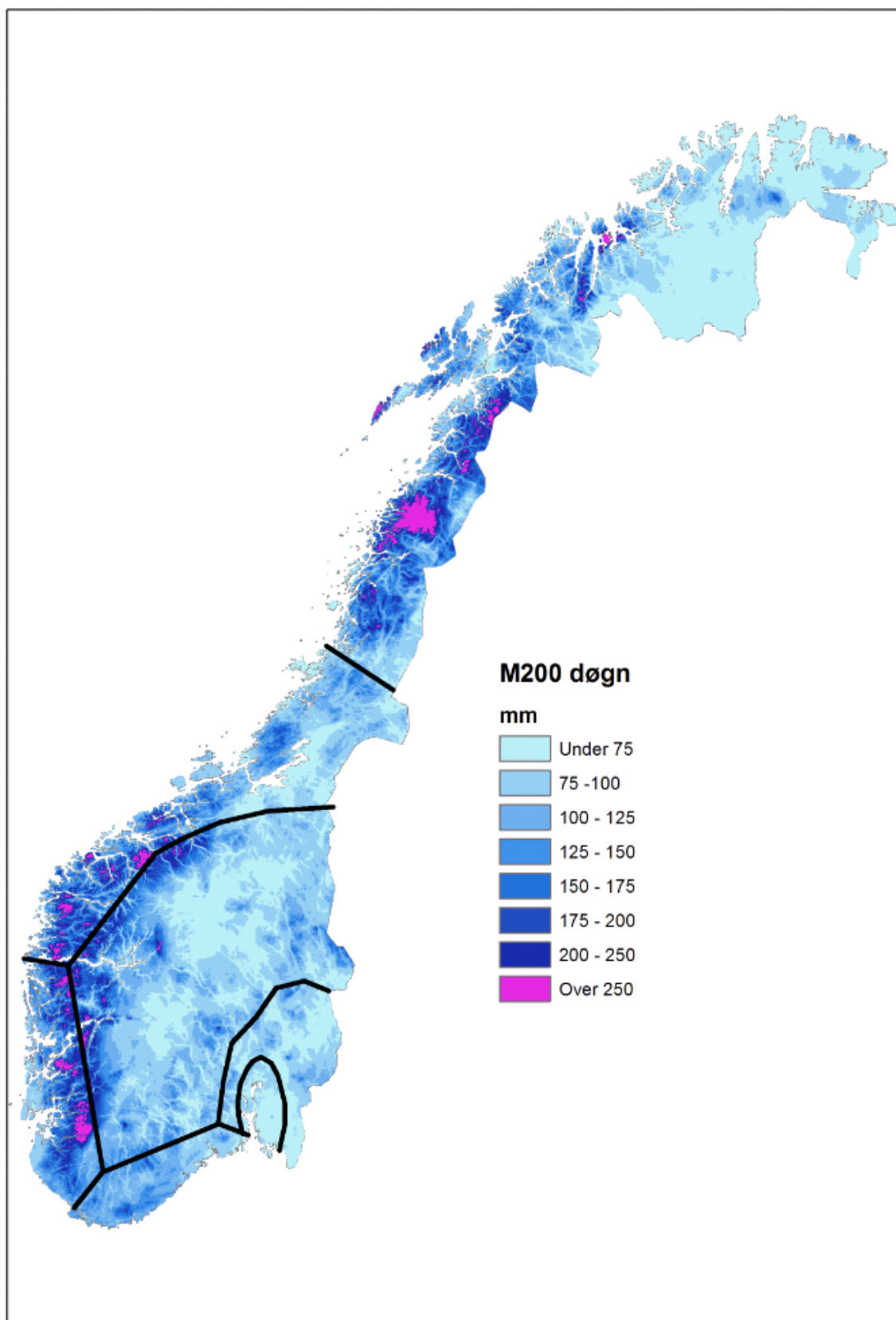


Figur 32. Tentative øvre estimat for 1-times nedbør med 200-års returperiode.

Kommentar til Figur 32: Isolinjene er en subjektiv modifisering av den geografiske fordeling som er vist i Figur 8 og som er gjengitt her som bakgrunnskart. Det er spesielt forsøkt å ta hensyn til nedbørforhold i områder med dårlig stasjonsdekning. Figur 8 er basert på målinger i sommermånedene, og gir et underestimat for nedbørrike områder langs kysten der det kan forekomme høy 1-times nedbør også utenfor sommersesongen. Isolinjene bygger bl.a. på resultat fra re-analyser (Mamen m. fl., 2011). Den geografiske fordelingen i Figur 8 vil bli modifisert etter hvert som datagrunnlaget forbedres, og oppdaterte versjoner vil fortløpende bli gjort tilgjengelige på nettsidene til Klimaservicesenteret (www.klimaservicesenter.no).



Figur 33. Geografisk fordeling av 3-timers nedbør med 200-års returperiode (Dyrødal m. fl., 2015)



Figur 34. 1-døgns nedbør med 200-års returperiode. Datagrunnlag er METs manuelle vær- og nedbørstasjoner, og er basert på målinger i nedbørdøgnet kl 08-08. Førland (1992) anbefalte en faktor på 1,13 for å justere påregnelige verdier fra 1-kalenderdøgnet til vilkår

Vedlegg 6 – Regneeksempler

I dette vedlegget er det utført tre flomberegninger for å eksemplifisere arbeidsgang og utfordringer knyttet til små nedbørfelt. Flomberegningene er utført for to felt hvor det foreligger vannføringsmålinger for å kunne gjøre en vurdering av resultatene fra flomberegningene. Det er også utført beregninger for et umålt felt i Lillehammer for å vise anbefalt arbeidsgang i et område hvor det foreligger svært lite observasjoner.

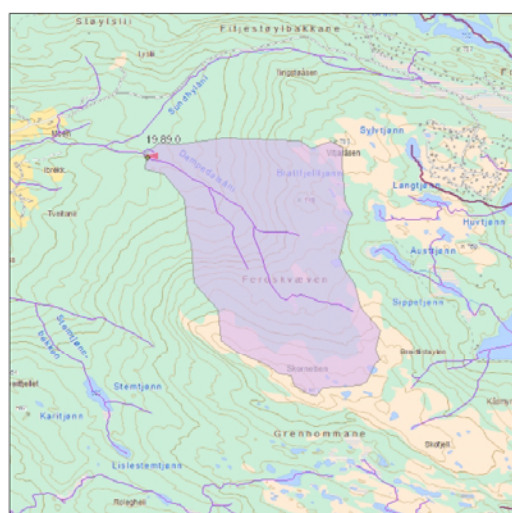
Første skritt i enhver flomberegning bør være å få en oversikt over nedbørfeltet som skal analyseres. Dette innebærer typisk å innhente informasjon om blant annet meteorologi, topografi, grunnforhold og arealbruk, i tillegg til å identifisere hva som finnes av hydrologiske data i området. Beregningsmetodikk velges så på bakgrunn av nedbørfeltets karakter og datatilgjengelighet. Resultatene fra NIFS-prosjektet tyder på at de beregningsmetoder som brukes i dag alle er beheftet med stor grad av usikkerhet, og følgelig anbefales det i denne veilederen å utføre beregninger ved bruk av flere metoder (beskrevet i veilederen i kapittel 6) for så å vurdere resultatene fra disse opp mot hverandre. Til slutt velges den flomverdien en finner å være mest sannsynlig, bestemmer klimapåslag og vurderer usikkerheten ut i fra kriteriene presentert i kapittel 7.2.

Skornetten

Det første eksemplet er en beregning for nedbørfeltet til målestasjon 19.89 Skornetten. Nedbørfeltet ligger i Nissedal kommune i Telemark. Nedbørfeltets beliggenhet er vist i Figur 35. Skornetten har et nedbørfelt på 2,6 km² og registrerte vannstand (vannføring) i perioden 1973-2002. Ved å anvende Lavvannsapplikasjonen NEVINA (nevina.nve.no) som er tilgjengelig gjennom NVEs hjemmesider, kan det hentes ut feltkarakteristika for nedbørfeltet som skal analyseres, og resultatet er vist i Figur 36. Fra rapporten (Figur 36) vises blant annet at nedbørfeltet har en årsnedbør på rundt 1000 mm, er i stor grad dominert av skog og har tilnærmet null andel innsjø (forholdsvis lav dempningsgrad). Figur 37 viser et flyfoto over området som syntes å bekrefte godt resultatet fra GIS-analysen fra NEVINA.



Figur 35. Viser beliggenheten til Skornetten målestasjon (lyseblå sirkel), samt stasjoner (sorte sirkler) i området som måler vannføring i små nedbørfelt. Det røde er nedbørfeltet til Skornetten målestasjon.



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N

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

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 019.F1
Kommune: Nissedal
Fylke: Telemark
Vassdrag: ARENDALSVASSDRAGET

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	27,3 l/s/km ²
Alminnelig lavvannføring	0,0 l/s/km ²
5-persentil (hele året)	0,0 l/s/km ²
5-persentil (1/5-30/9)	0,0 l/s/km ²
5-persentil (1/10-30/4)	0,0 l/s/km ²
Base flow	0,0 l/s/km ²
BFI	0,0

Klima	
Klimaregion	Sor
Årsnedbør	1040 mm
Sommernedbør	472 mm
Vinternedbør	568 mm
Årstemperatur	2,0 °C
Sommertemperatur	8,6 °C
Vintertemperatur	-2,8 °C
Temperatur Juli	11,1 °C
Temperatur August	10,9 °C

Feltparametere	
Areal (A)	2,6 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 %
Elvelengde (E _L)	2,4 km
Elvegradient (E _G)	98,7 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	109,5 m/km
Feltlengde (F _L)	2,6 km
H _{min}	540 moh.
H ₁₀	601 moh.
H ₂₀	641 moh.
H ₃₀	685 moh.
H ₄₀	725 moh.
H ₅₀	741 moh.
H ₆₀	753 moh.
H ₇₀	767 moh.
H ₈₀	794 moh.
H ₉₀	830 moh.
H _{max}	881 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	0,0 %
Myr	1,2 %
Sjø	0,4 %
Skog	80,4 %
Snaufjell	17,3 %
Urban	0,0 %

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

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

Figur 36. Rapport fra GIS-analysen fra Lavvannapplikasjonen NEVINA som viser feltegenskaper.



Figur 37. Flyfoto av nedbørfeltet til Skornetten målestasjon.

Etter å ha fått oversikt over nedbørfeltet kan selve flomberegningen begynne. Som nevnt innledningsvis anbefales det å utføre beregninger ved bruk av flere metoder, og de metodene som bør vurderes brukt er beskrevet i kapittel 5. For svært små nedbørfelt som Skornetten anbefales det å bruke NIFS-formelverk (formelverk for små felt (Glad m. fl., 2015)), flomfrekvensanalyser hvis mulig og komplette med PQRUT og/eller Rasjonale formel.

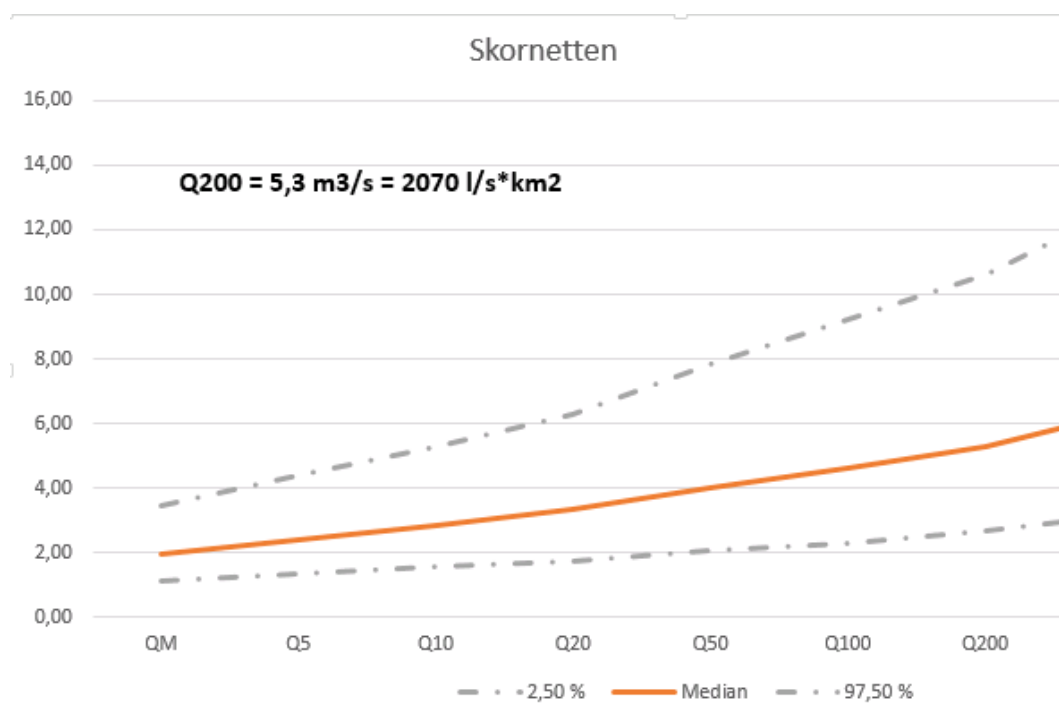
NIFS-formelverk

For å anvende NIFS-formelverk må en ha tilgjengelig informasjon om nedbørfeltets areal, normalavrenning og effektiv sjøprosent. Alle disse tre størrelsene fås direkte ved å kjøre GIS-analyse i NEVINA. Areal og effektiv sjøprosent beregnes ut fra GIS-analyser, mens normalavrenningen hentes fra det såkalte avrenningskartet (se forklaring i kapittel 1.2). Av de tre størrelsene er det normalavrenningen det er knyttet størst usikkerhet til og det anbefales å alltid gjøre en vurdering av denne når formelverket benyttes. Dette kan gjøres ved å sammenligne normalavrenningen fra avrenningskartet med normalavrenningen beregnet fra observasjoner i nærområdet. Figur 35 viser at det er flere målestasjoner i området rundt nedbørfeltet til Skornetten og i Tabell 9 sammenlignes normalavrenningen fra avrenningskartet og fra observasjoner.

Tabell 9. Viser normalavrenningen ($\text{l/s}\cdot\text{km}^2$) for stasjoner i området rundt nedbørfeltet Skornetten hentet fra avrenningskartet og beregnet fra observasjoner.

Stasjon	QN (61-90)	QN obs
Rauåna	24	24
Gravå	22	23
Stigvassåi	27	30
Tjellingtjernbekk	24	32
Åbogstjønn ndf.	31	27
Storgama ovf.	39	33
Grytå	24	30

Fra tabellen over er det ingen tydelig indikasjon på at avrenningskartet over- eller underestimerer normalavrenningen og verdien fra avrenningskartet brukes videre uten korreksjon. Ved å legge inn nødvendige parametere i formelverket fås følgende estimater for flomverdier for Skornetten (Figur 38).



Figur 38. Flomestimat for Skornetten ved bruk av formelverket.

Flomfrekvensanalyser

For å kunne utføre flomfrekvensanalyser for umålte nedbørfelt er det nødvendig å ha representative/sammenlignbare nedbørfelt med gode og lange tidsserier i området. Representativitet og sammenlignbarhet vurderes ut fra kriterier beskrevet i kapittel 3.6. Figur 35 viser et kartutsnitt med målestasjoner med nedbørfelt under 50 km^2 i området rundt Skornetten. I Tabell 10 er disse listet opp sammen med de viktigste feltkarakteristika for å vurdere representativiteten.

Tabell 10. Viser feltkarakteristika for Skornetten og potensielle representative målte nedbørfelt i området. For sammenligningsstasjonene er også middelflommen presentert i l/s·km².

Stnr.	Stasjonsnavn	A (km ²)	qN	Feltgradient	H0 (moh)	H100 (moh)	Myr (%)	Skog (%)	Bart fjell	Ase (%)	qM (l/s·km ²)
	Skornetten	2,6	27	19	540	881	1	80	17	0,0	
19.79	Gravå	6,3	22	26	362	1063	5	69	17	0,0	406
19.78	Grytå	18,7	24	23	625	1007	2	37	42	5,6	483
19.82	Rauåna	8,9	24	36	222	760	2	91	1	0,0	779
19.80	Stigvassåi	14,0	27	22	148	429	4	91	0	0,2	699
19.96	Storgama ovf.	0,5	39	20	581	680	2	23	62	4,7	827
18.11	Tjellingtjernbekk	2,0	24	22	223	499	0	51	0	1,5	938
19.91	Åbogstjønn ndf.	1,2	31	31	636	849	4	80	0	3,4	539

Tabell 12 viser at den spesifikke middelflommen for stasjonene i området varierer fra ca. 400 – 940 l/s·km². Av de stasjonene som ligger i området rundt nedbørfeltet til Skornetten er det Tjellingtjernbekk, Storgama ovf. og Åbogstjønn ndf. som ligger nærmest og som er mest sammenlignbare i forhold til feltareal. Alle disse tre feltene har imidlertid en forventet større demping i feltet som følge av høyere effektiv sjøprosent enn nedbørfeltet til Skornetten. Både Storgama ovf., og Åbogstjønn ndf. har såpass høy effektiv sjøprosent at middelflommen til Skornetten forventes å ligge høyere enn disse selv om Storgama ovf. har en forholdsvis høy andel av snaufjell i feltet. Analyser av korttidsnedbør i regionen (se kapittel 2.3) har vist at det er en gradient i korttidsnedbøren og at de høyeste verdiene kommer helt ute ved kysten, mens det gradvis avtar ettersom en beveger seg inn i landet. Følgelig er det rimelig å anta at Tjellingtjernbekk får mer intense byger enn nedbørfeltet til Skornetten. Tjellingtjernbekk har også en lavere andel og mer glissen skog enn Skornetten, som kan være med å utjevne forskjellen i demping mellom de to feltet. På bakgrunn av dette forventes Tjellingtjernbekk å ha noe høyere middelflom enn Skornetten. Målestasjon Rauåna har et nedbørfelt som er noe større enn Skornetten, men har ellers ganske tilsvarende feltparametere. Grunnet et nedbørfelt som er tre ganger så stort og en noe høyere andel skog, antas det at Rauåna har noe lavere middelflom enn Skornetten. På bakgrunn av vurderingene over settes middelflommen for Skornetten til en verdi mellom middelflommen for Rauåna og Tjellingtjernbekk. Middelflommen settes til 860 l/s·km² = 2,2 m³/s. Ved så å anvende vekstkurven fra formelverket blir forholdstallet mellom middelflom og 200-årsflom 2,74 som gir

$$Q_{200} = 2,2 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 2,74 = 6,0 \text{ m}^3/\text{s} = 2308 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$$

PQRUT

For å utføre beregninger med nedbør-avløpsmodellen PQRUT må modellen først «kalibreres» ved å estimere modellparameterne K1, K2 og T (se kapittel 5.3). I tillegg må det bestemmes en dimensjonerende nedbørverdi og en konsentrasjonstid. For Skornetten er modellparameterne estimert til

$$K1 = 0,194 \quad K2 = 0,041 \quad T = 10,4 \text{ mm}$$

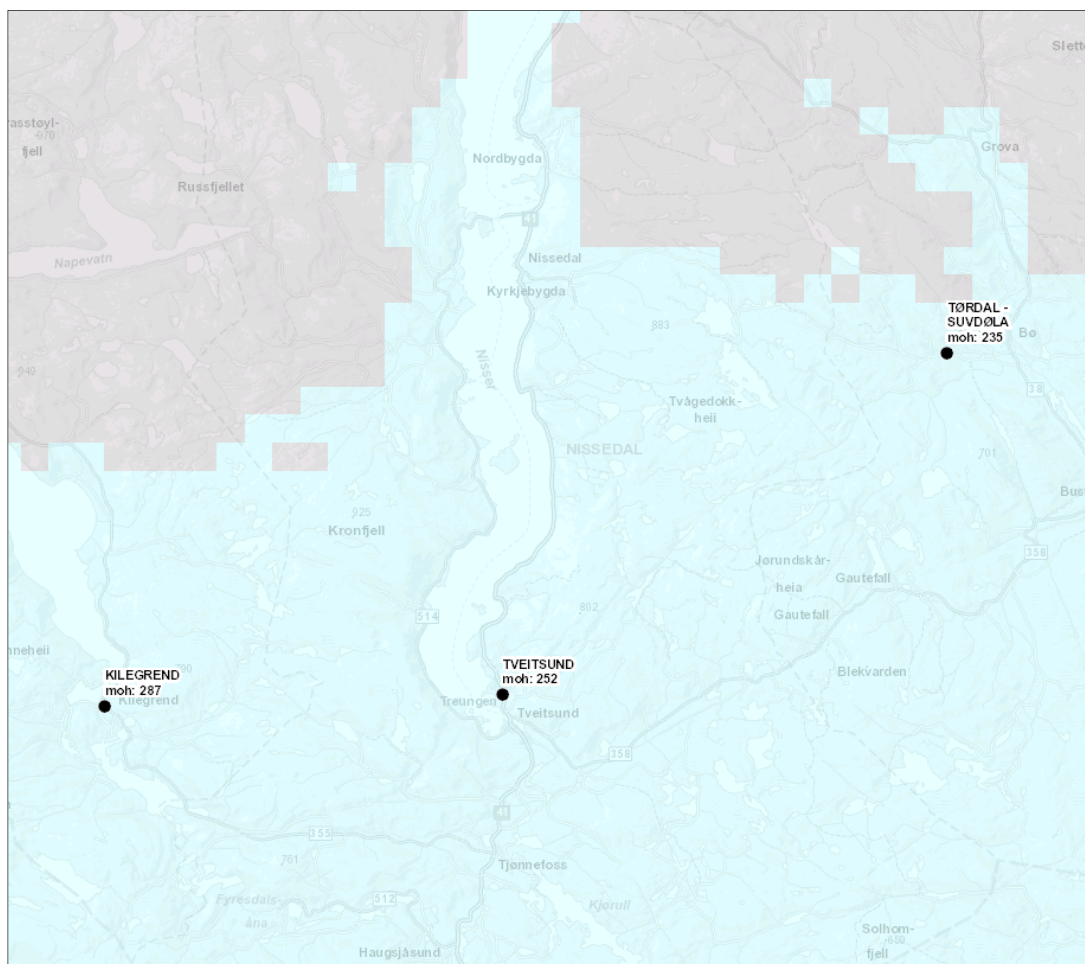
Initialvannføringen ble satt til tre ganger normalvannføringen og metningsgraden til 100%.

For svært små nedbørfelt som Skornetten med lav dempningsgrad vurderes følgende formel (kapittel 3.3) å gi et godt estimat av konsentrasjonstiden, T_c.

$$T_c = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3000 \cdot A_{SE} = 0,6 \cdot 2600 \cdot 341^{-0,5} + 3000 \cdot 0 = 86 \text{ min} = \text{ca. 1 time}$$

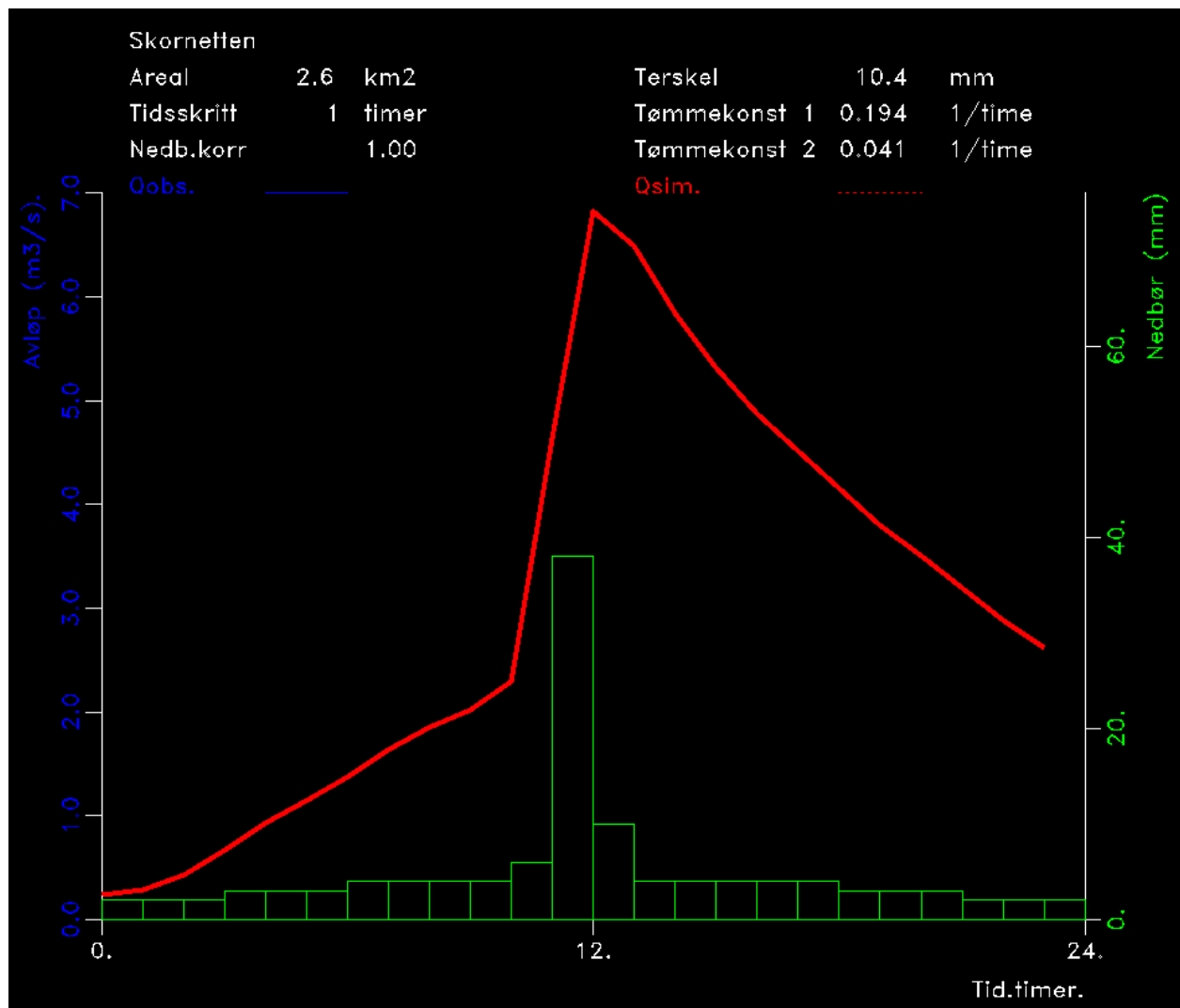
For å bestemme dimensjonerende nedbørverdi følges anbefalingene fra kapittel 2.3.4. For å få et første estimat av dimensjonerende døgnnedbør anvendes Figur 9. Kartet gir at verdien bør ligge i størrelsesorden 100-150 mm. Kartutsnittet (Figur 39) fra www.xgeo.no viser at det ligger 3 nedbørstasjoner i området rundt Nisser og nedbørfeltet til Skornetten med tilnærmet lik avstand til kysten. Frekvensanalyser fra disse stasjonene gir 200 års døgnerverdi på mellom 90-120 mm. De høyeste observerte døgnerverdiene fra disse tre stasjonene er 114 mm (Kilegrend), 80 mm (Tveitsund), og 117 mm

(Tørdal-Suvdøla). På bakgrunn av dette settes dimensjonerende døgnnedbør til 120 mm. For å bestemme dimensjonerende timesnedbør kan Figur 26 anvendes for å få et første inntrykk. For Sørlandsregionen ligger timesverdien i størrelsesorden 35 % av døgnerverdien. Dette gir en timesverdi på 42 mm. Nedbørfeltet til Skornetten ligger i et område hvor det er flere stasjoner som observerer korttidsnedbør og fra de regionale analysene beskrevet i kapittel 2.3.3 gir at timesnedbøren med 200 års returperiode i region Sørlandet varierer mellom 30-50 mm. Fra regresjonsanalysene utført av Dyrredal m. fl. (2015) presentert i Figur 8 kan en se at timesverdiene avtar med økt avstand til kysten. De nærmeste nedbørstasjonene som måler korttidsnedbør i nærheten av Skornetten er Skien-Klosterskogen som ligger ved kysten og Gvarv som ligger i innlandet. Ettersom nedbørfeltet til Skornetten ligger noe nærmere kysten enn målestasjonen Gvarv, velges det her å sette dimensjonerende timesnedbør til gjennomsnittsverdien for Skien-Klosterskogen og Gvarv. Dette gir en timesnedbør med returperiode på 200 år for nedbørfeltet til Skornetten på 38 mm. Denne verdien stemmer godt overens med det første estimatet gjort på bakgrunn av Figur 26 og brukes videre i beregningen. Figur 26 benyttes så for å konstruere nedbørforløpet. Feltparametere og nedbørforløp ble lagt inn i modellen og resultatet fra kjøringen er vist i Figur 40. Kjøringen ga en flom med 200-års gjentaksintervall på $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ som tilsvarer $2615 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$.



Figur 39. Kartutsnitt fra www.xgeo.no som viser nedbørstasjoner i området rundt innsjøen Nisser og nedbørfeltet til Skornetten.

$$Q_{200} = 6,8 \text{ m}^3/\text{s} = 2615 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$$



Figur 40 Viser resultatet fra nedbør-avløpsmodellen PQRUT for Q_{200} for Skornetten.

Rasjonale formel

For å utføre beregninger med rasjonale formel er det tre avgjørende tall som må bestemmes. Det første er konsentrasjonstiden. Dette ble beregnet i beregningen for PQRUT til å være 86 minutter. Det neste som skal bestemmes er nedbøren som skal inngå i formelen. Varigheten på nedbøren som skal inngå i rasjonale formel skal være lik konsentrasjonstiden og følgelig anvendes her summen av høyeste timesverdi som inngikk i nedbørforløpet til PQRUT-modellen og halvparten av den nesthøyeste timesverdien. Dette gir en nedbørintensitet på 43 mm på ca. 90 minutter. Det siste som må bestemmes for å gjøre flomberegning ved bruk av rasjonale formel er å bestemme avrenningskoeffisienten, C. Fra anbefalingene i 6.4.1 bør denne verdien stort sett ligge i størrelsesorden 0,4 - 0,6. Skornetten har et forholdsvis slakt nedbørfelt og er i all hovedsak dekket av skog, men med ca. 20 % andel snaufjell. Dette medfører at det bør brukes en forholdsvis lav C-verdi. Ved å anvende anbefalingene fra kapittel 6.4.1 og tabeller for bestemmelse av C-verdi settes denne til 0,3. For å beregne 200-årsflommen anbefales det imidlertid at det legges på 30 % på denne verdien for å ta hensyn til metning og følgelig at større andel av nedbøren bidrar til avrenning. Dette gir en endelig C-verdi på 0,4 som brukes videre.

Ettersom arealet er kjent fra de innledende analysene, er alt nå klart for å utføre beregningene og resultatet blir som følger:

$$Q_{200} = C \cdot i \cdot A = 0,4 \cdot 80 \cdot 260 = 7,5 \text{ m}^3/\text{s} = 2900 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$$

Sammenligning av resultater og valg av verdi

For nedbørfeltet til Skornetten er det utført flomberegninger ved bruk av tre uavhengige tilnærminger. Beregningene ga følgende resultater:

Frekvensanalyser/formelverk: $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2308 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$)

PQRUT: $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2615 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$)

Rasjonale formel: $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2900 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$)

Nedbørfeltet til Skornetten ligger i et området hvor det er flere målestasjoner som er forholdsvis representative. Følgelig antas det at estimatet fra frekvensanalyser og formelverk gir et brukbart estimat av middelflommen og for høyere gjentaksintervall. Resultatene fra PQRUT og rasjonale formel ligger noe høyere. Det er verdt å merke seg at resultatet fra både PQRUT og rasjonale formel ligger godt innenfor usikkerhetsintervallet til det første resultatet fra formelverket som gir at 200-årsflommen ligger mellom $2,7\text{-}10,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Av de 7 målestasjonene som ble undersøkt i frekvensanalysene er det kun Tjellingtjernbekk som har observert spesifikk vannføring høyere enn $1700 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ og den høyeste observerte vannføringen fra denne stasjonen er på $2690 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Denne forventes imidlertid å ha høyere verdier enn Skornetten. Både PQRUT og Rasjonale formel ligger noe høyere enn resultatet fra frekvensanalysene og formelverket, men disse syntes å være noe høye. Det velges her likevel å ta hensyn til de, og dimensjonerende 200-årsflom for Skornetten settes følgelig til $6,5 \text{ m}^3/\text{s} = 2500 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

På bakgrunn av et forholdsvis bra datagrunnlag vurderes flomberegningen for Skornetten til å være «Middels» som er den nest beste klassen i Tabell 8. For å dimensjonere for fremtidig klima anbefales det å legge til et klimapåslag og fra kapittel 6.6 anbefales det at påslaget for små nedbørfelt bør være på 20 %, men at opp mot 40 % bør vurderes for hver enkelt beregning. For å dimensjonere for fremtidig klima anbefales det å legge til et klimapåslag og fra kapittel 6.5 kan en lese at for små nedbørfelt bør dette være på 20 %, men at opp mot 40 % bør vurderes for hver enkelt beregning. Ved å bruke resultatene fra «Klima i Norge 2100» settes klimapåslaget for Skornetten til 30 %. Følgelig blir 200-årsflommen med klimapåslag for Skornetten $1,3 \cdot 6,5 = 8,5 \text{ m}^3/\text{s} = 3900 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

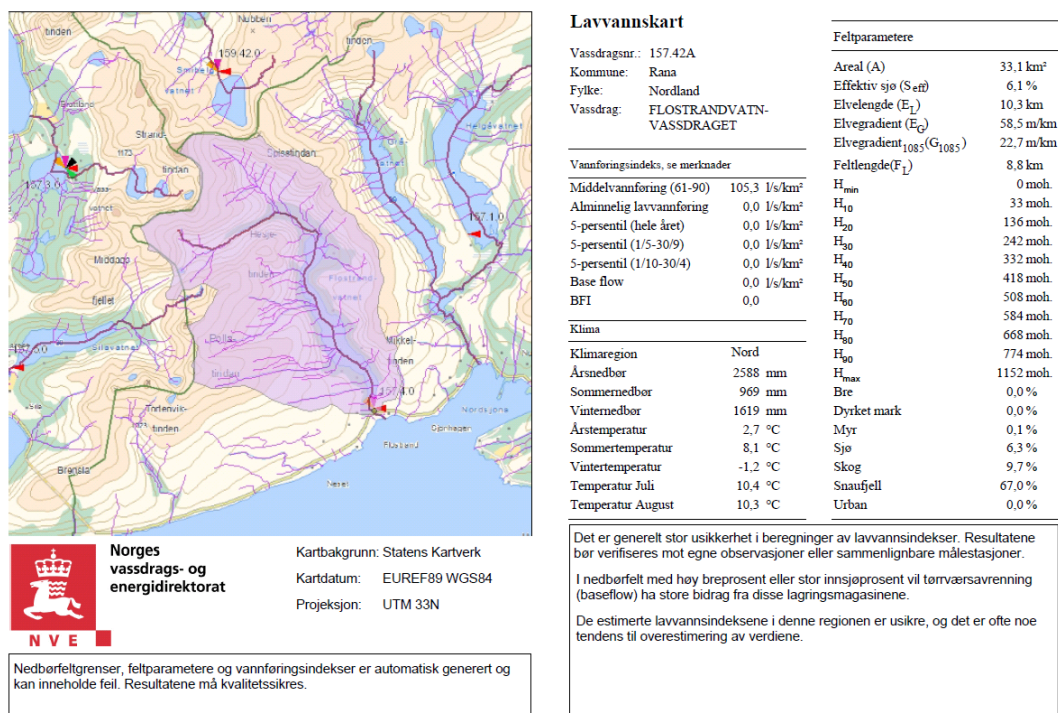
Som nevnt innledningsvis ble det observert vannstand (vannføring) i nedbørfeltet i perioden 1973-2002, og følgelig er det interessant å se hvor godt eller dårlig resultatet fra flomberegningen stemmer overens med observasjonene. Ved å beregne middelflommen basert på observasjonene fra Skornetten og anvende formelverket for vekstkurven blir resulterende 200-årsflom $Q_{200} = 6,35 \text{ m}^3/\text{s} = 2443 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Dette er tilnærmet identisk resultatet fra flomberegningen. Det er imidlertid viktig å huske på at når det kommer til estimater av 200-årsverdier, har en sjelden lange nok tidsserier til å forvente veldig gode estimater selv om en har 25 år med data som det her foreligger for Skornetten. Frekvensanalyser på 25 år med data vil fortsatt gi en høy grad av usikkerhet for 200-årsverdien. Ved å gjøre frekvensanalyser utelukkende på tidsserien (altså vekstkurven er ikke basert på formelverket) resulterer dette i en 200-årsverdi på $5,5 \text{ m}^3/\text{s} = 2115 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ og om dette benyttes som fasit vil flomberegningen utført her overestimere 200-verdien med 18 %.

Flostrand

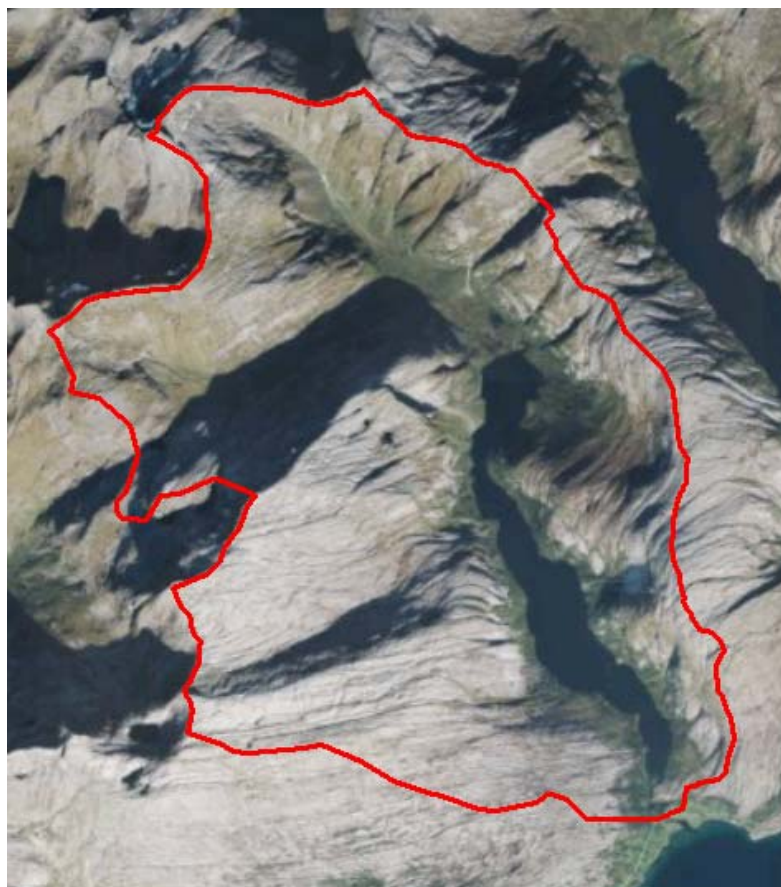
Det andre eksemplet er en beregning for nedbørfeltet til målestasjon 157.4 Flostrand. Nedbørfeltet ligger i Rana kommune i Nordland. Nedbørfeltets beliggenhet er vist i Figur 41. Flostrand har et nedbørfelt på 33,1 km² og har registrert vannstand (vannføring) i perioden 1988-dd. Lavvannsapplikasjonen NEVINA (nevina.nve.no), som er tilgjengelig gjennom NVEs hjemmesider, gir feltkarakteristika for nedbørfeltet som skal analyseres, og resultatet er vist i Figur 42. Rapporten viser for eksempel at nedbørfeltet har en årsnedbør på rundt 2600 mm, i stor grad er dominert av bart fjell og at det har en forholdsvis høy andel innsjø (potensielt høy dempningsgrad). Figur 43 viser et flyfoto over området som syntes å bekrefte godt resultatet fra GIS-analysen.



Figur 41. Oversikt over beliggenhet og målestasjoner i området rundt Flostrand nedbørfelt.



Figur 42. Rapport fra Lavvannapplikasjonen (NEVINA) med opplysninger om feltparametere.



Figur 43. Flyfoto over nedbørfeltet til Flostrand.

Etter å ha fått oversikt over nedbørfeltet kan selve flomberegningen begynne. Som nevnt innledningsvis anbefales det å utføre beregninger ved bruk av flere metoder, og de metodene som bør vurderes brukt er beskrevet i kapittel 5. For Flostrand anbefales det å bruke NIFS-formelverk, flomfrekvensanalyser, og PQRUT.

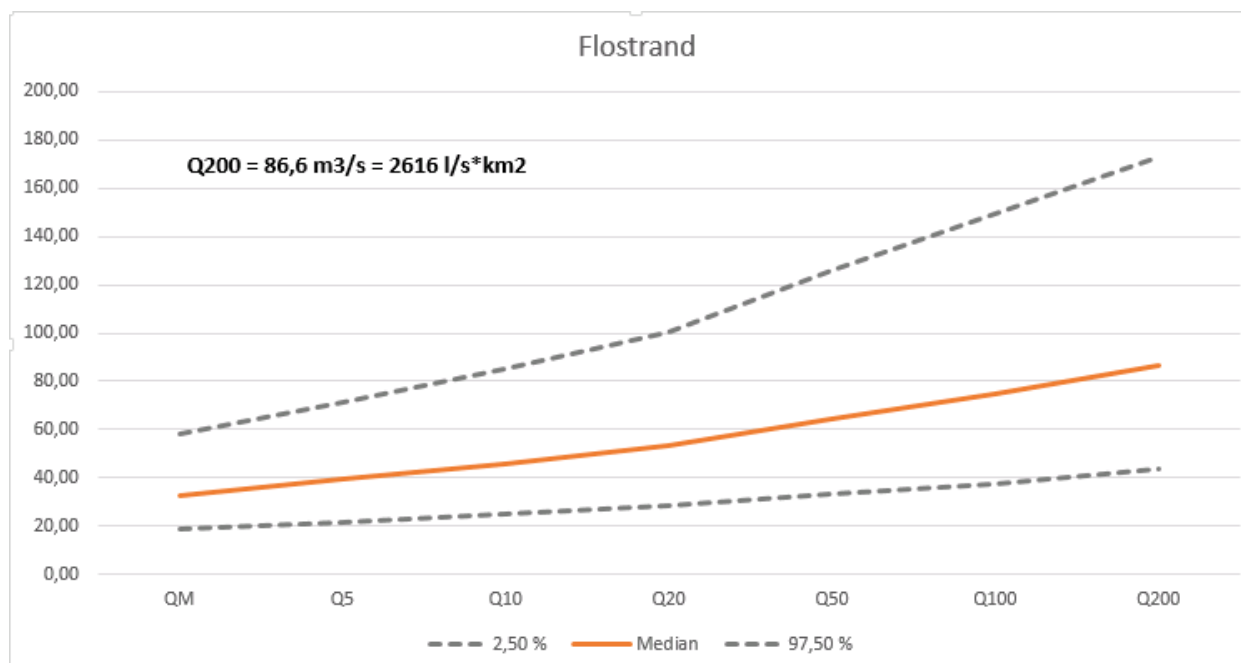
NIFS-formelverk

For å anvende NIFS-formelverk er det nødvendig å ha tilgjengelig informasjon om nedbørfeltets areal, normalavrenning og effektiv sjøprosent. Alle disse tre størrelsene får en direkte ved å kjøre Lavannsapplikasjonen NEVINA. Areal og effektiv sjøprosent beregnes ut fra GIS-analyser, mens normalavrenningen hentes fra det såkalte avrenningskartet (se forklaring i kapittel 1.2). Av de tre størrelsene er det normalavrenningen det er knyttet størst usikkerhet til og det anbefales å alltid gjøre en vurdering av denne når formelverket benyttes. Dette kan gjøres ved å sammenligne normalavrenningen fra avrenningskartet med normalavrenningen beregnet fra observasjoner i nærområdet. Figur 41 viser at det er flere målestasjoner i området rundt nedbørfeltet til Flostrand og i Tabell 11 sammenlignes normalavrenningen fra avrenningskartet og fra observasjoner.

Tabell 11. Viser normalavrenningen (l/s·km²) for stasjoner i området rundt nedbørfeltet til Flostrand hentet fra avrenningskartet og beregnet fra observasjoner.

Stasjon	QN (61-90)	QN obs
Bogvatn	74	77
Leiråga	97	98
Navnløsvatn	81	155
Skauvoll	84	91
Staupåga	54	52
Storvatn	97	122
Strømdalen	74	81
Sørøra	43	38
Vassvatn	123	123

Fra tabellen over er det god overenstemmelse mellom normalavrenningen fra avrenningskartet og observasjoner for Bogvatn, Leiråga, Staupåga, Sørøra og Vassvatn. For Skauvoll og Strømdalen er normalavrenningen en del lavere i avrenningskartet enn fra observasjoner. For stasjonene Navnløsvatn og Storvatn gir avrenningskartet alt for lave verdier. Resultatet fra analysene indikerer at det er fare for at avrenningskartet gir noe lave verdier i området. Da det er utfordrende å si akkurat hvor mye lavere enn den sanne verdien avrenningskartet ligger legges det her til normalavrenningen for Flostrand snittavviket fra målestasjonene i området. Fra avrenningskartet har Flostrand en normalavrenning på 105 l/s·km² og snittavviket fra stasjonene i området er 12 l/s·km². Følgelig settes normalavrenningen for Flostrand til 117 l/s·km². Nødvendige parametere legges inn i formelverket og Figur 44 viser et første estimat av flomverdier for Flostrand.



Figur 44. Første estimat av 200-årsflom fra NIFS-formelverk.

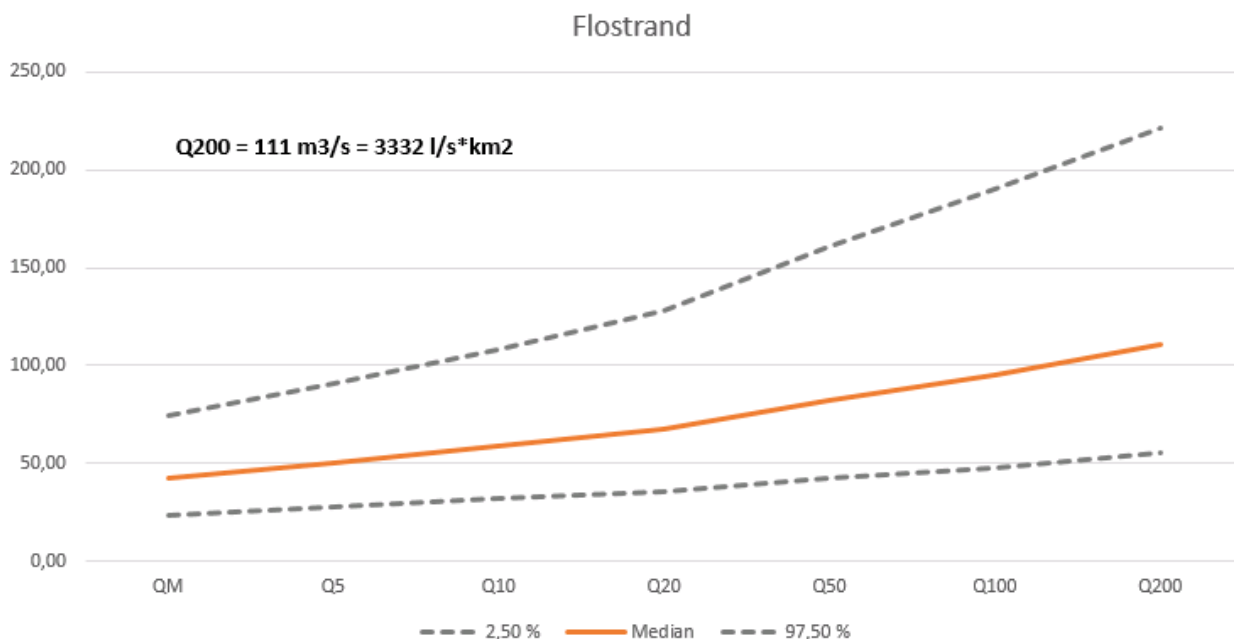
Flomfrekvensanalyser

For å utføre flomfrekvensanalyser for å estimere flommer for umålte felt, er det nødvendig å ha representative stasjoner med gode tidsserier. Figur 41 viser målestasjoner som ligger i området rundt Flostrand. Tabell 12 lister opp stasjonene sammen med viktige feltparametere og spesifikk middelflom beregnet fra observasjoner. Det anbefales å stille strengere krav til representativitet når middelflommen skal bestemmes enn for vekstkurvene og de viktigste parameterne som skal vurderes er areal, normalavrenning og effektiv sjøprosent. Ved å sammenligne disse tre feltparametere er det Storvatn og Vassvatn som virker å være mest representative. Andre viktige feltparametere som andel snaufjell og feltgradient (bratthet) gir ytterligere grunn til å tro at disse to stasjonene virker å gi det mest representative sammenligningsgrunnlaget. Nedbørfeltet til Vassvatn ligger rett vest for Flostrand, har svært like verdier av normalavrenning, effektiv sjøprosent, andel snaufjell og bratthet. Storvatn ligger noe lenger sør og forventes å ha noe lavere verdier grunnet større effektiv sjøprosent. Med en så god sammenligningsstasjon som Vassvatn, velges verdien fra denne stasjonen som styrende for middelflommen. Følgelig settes middelflommen til Flostrand til $1260 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ som gir $42 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabell 12. Viser feltparametere og spesifikk middelflom for potensielle sammenligningsstasjoner i området rundt Flostrand.

Stasjon	Areal (km ²)	QN (l/s*km ²)	Eff. Sjø (%)	Snaufjell (%)	Feltgradient (m/km)	QM (l/s*km ²)
Flostrand	33,2	117	6,1	67	51	
Bogvatn	36,2	77	8,9	71	0	612
Leiråga	44,1	98	0,1	66	0	1154
Navnløsvatn	7,3	155	14,6	73	18	955
Skauvoll	19,8	91	1,5	58	37	910
Staupåga	18,5	52	0,2	85	36	596
Storvatn	48,0	122	8,1	64	39	966
Strømdalen	22,4	81	0,2	57	47	1683
Sørå	6,6	38	0,0	0	11	947
Vassvatn	16,3	123	6,1	57	49	1254

For å bestemme vekstkurven (forholdstallet mellom middelflommen og andre returperioder) anbefales det generelt å ta utgangspunkt i formelverket presentert i kapittel 5.2. Ved nå å anvende formelverket med middelflom bestemt fra frekvensanalysene over blir resulterende flomstørrelser for Flostrand som vist i Figur 45. Resultatet blir en 200-årsflom på $111 \text{ m}^3/\text{s}$ som tilsvarer $3332 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. Det er imidlertid viktig å huske på at formelverket har en stor grad av usikkerhet og at resultatet følgelig er at Q_{200} ligger mellom 44 og $174 \text{ m}^3/\text{s}$ (NB! Merk her at dette er usikkerhetsintervallet fra det innledende estimatet fra formelverket. Ettersom middelflommen fra frekvensanalyser på representative stasjoner forventes å gi et bedre estimat på middelflommen forventes også usikkerheten presentert i Figur 45 å være mindre enn dette).



Figur 45. Viser flomverdier for Flostrand med middelflom estimert ved hjelp av flomfrekvensanalyser på representative nedbørfelt.

PQRUT

For å utføre beregninger med nedbør-avløpsmodellen PQRUT må modellen først «kalibreres» ved å estimere modellparameterne K_1 , K_2 og T (se kapittel 5.3). I tillegg må det bestemmes en dimensjonerende nedbørverdi og en konsentrasjonstid. For Flostrand er modellparameterne estimert til

$$K_1 = 0,226 \quad K_2 = 0,044 \quad T = 31,2 \text{ mm}$$

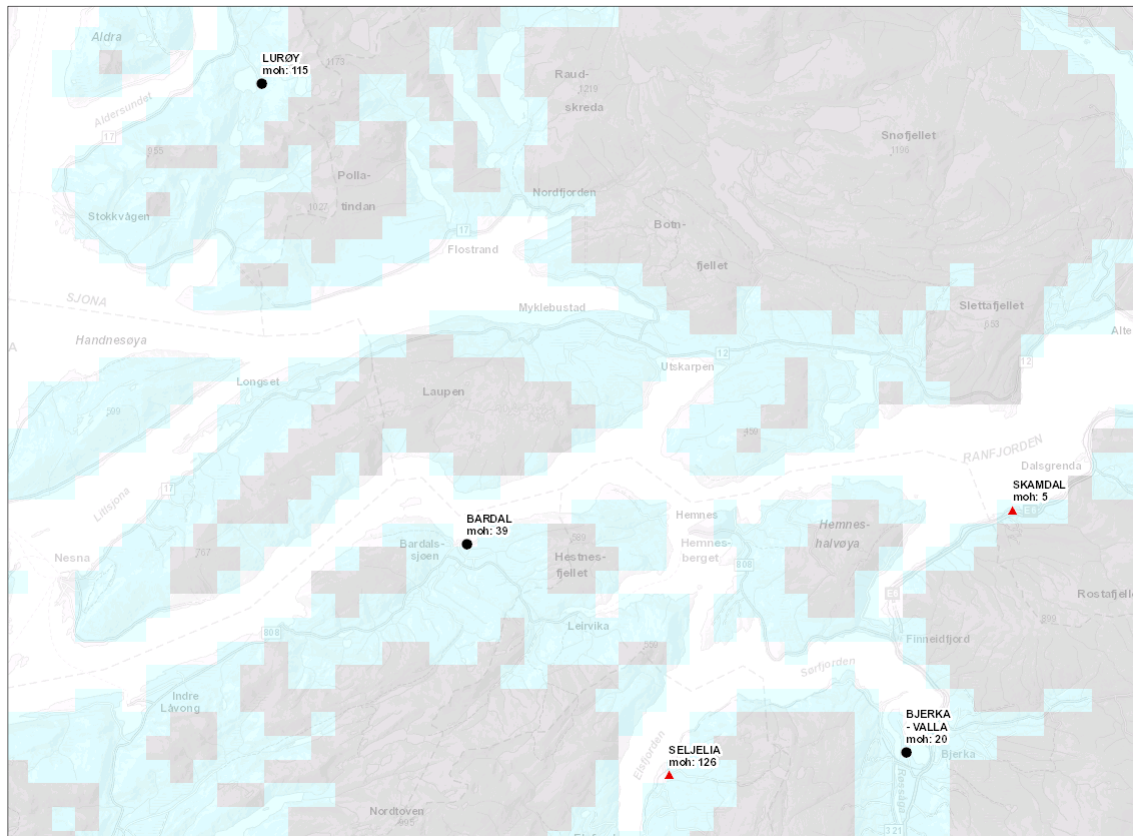
Initialvannføringen ble satt til tre ganger normalvannføringen og metningsgraden til 100%.

For nedbørfelt som Flostrand gir følgende formel (kapittel 3.3) et greit estimat av konsentrasjonstiden, T_c .

$$T_c = F_L / (1 \text{ m/s}) = \text{ca. 2 timer}$$

For å bestemme dimensjonerende nedbørverdi følges anbefalingene fra kapittel 2.3. For å få et første estimat av døgnnedbør med returperiode på 200 år anvendes Figur 9. Kartet gir at verdien bør ligge i størrelsesorden 200-250 mm. Figur 46 viser nedbørstasjoner i området som kan brukes for å bestemme styre inn dimensjonerende verdi. Målestasjon Lurøy er den som ligger nærmest nedbørfeltet til Flostrand og er den som ventes å være mest representativ. Stasjonen har også en lang observasjonsperiode (1922-2015). Frekvensanalyser utført på måleseriene for Lurøy og Bardal gir døgnnedbør med returperiode på 200 år på henholdsvis 213 mm og 123 mm. Den høyeste observerte døgnverdien fra de to stasjonene er

182 mm. Ettersom Lurøy forventes å være mest representativ, har lengst observasjonsperiode og stemmer best overens med verdiene fra Figur 9, velges det her å vektlegge denne stasjonen tungt i valg av døgnverdi. P_{200} settes her til 205 mm. For å justere påregnelig verdi fra døgnverdi til vilkårlige 24 timer skaleres denne verdien med en faktor på 1,13. Dette gir dimensjonerende døgnnedbør på 231 mm.

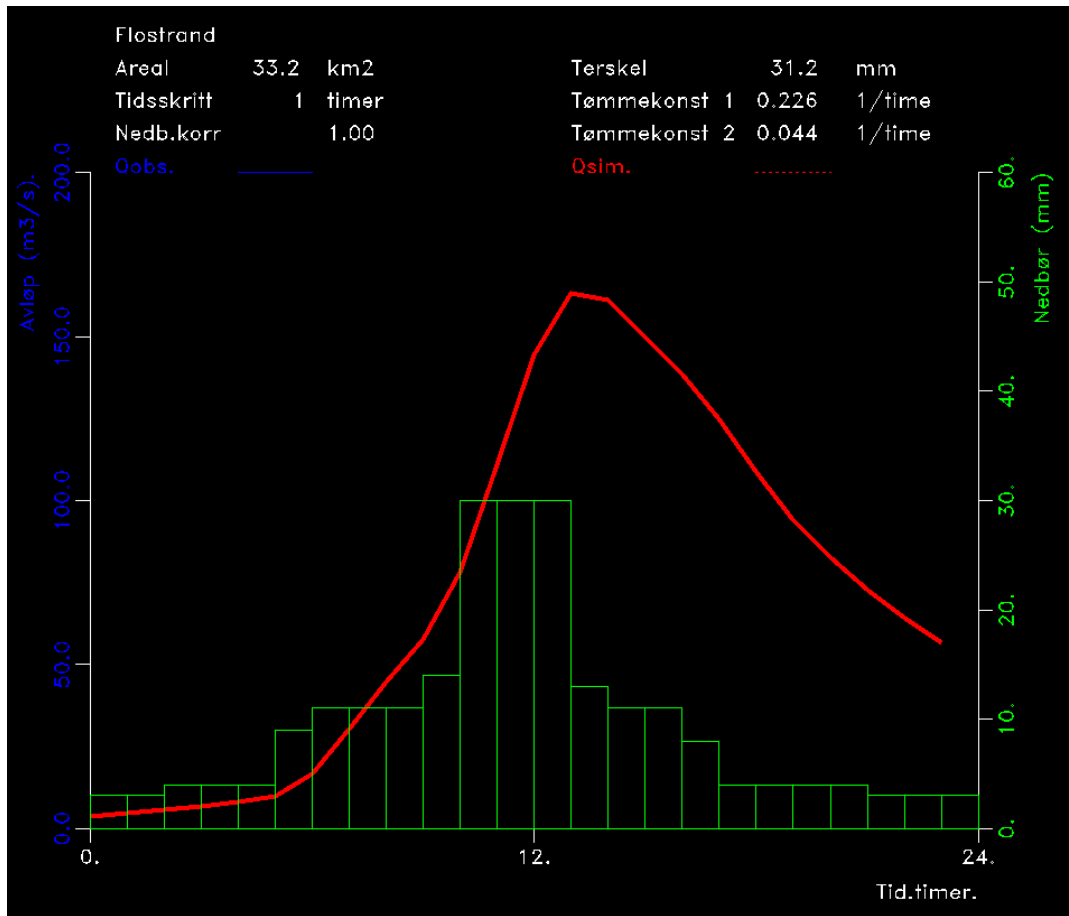


Figur 46. Viser nedbørstasjoner i området rundt Flostrand (stasjoner som måler døgnnedbør i svart og timesnedbør i rødt).

For å gjøre beregninger med PQRUT må det konstrueres et nedbørforløp og for å gjøre dette følges igjen anbefalingene fra kapittel 2.3. For å få et første estimat av dimensjonerende timesnedbør anbefales det at å bruke Figur 26. Kurven for Nord-Norge indikerer at timesverdien skal ligge rundt 35 % av døgnverdien. Dette gir en timesnedbør på 81 mm. Som beskrevet i kapittel 2.3 gir disse kurvene svært høye verdier i områder med veldig høy døgnverdi som for eksempel Flostrand. De regionale analysene på korttidsnedbør (Figur 23 i vedlegg 5) viser at timesverdien med 200 års returperiode ligger mellom 15-30 mm for de få stasjonene som hadde lange nok serier til å utføre statistiske analyser på. Estimert på 81 mm syntes følgelig å være alt for høyt. Figur 32 er ment å gi et inntrykk av forholdsvis konservative verdier, og i tilfeller hvor det er store sprik mellom resultatene fra de forskjellige tilnærmingene anbefales det å anvende verdier fra dette kartet. Følgelig settes timesnedbøren med 200 års returperiode til 30 mm her. Etter at timesnedbøren er bestemt, kan resten av nedbørforløpet konstrueres ved å bruke Figur 26.

Feltparametere, modellparametere og nedbørserien legges så inn og modellen kan kjøres. Resultatet er vist i Figur 47. Modellflommen kulminerer her på 166 m³/s.

$$Q_{200} = 166 \text{ m}^3/\text{s} = 5000 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$$



Figur 47. Viser modellkjøring for 200-års flom for Flostrand med PQRUT.

Sammenligning av resultater og valg av verdi

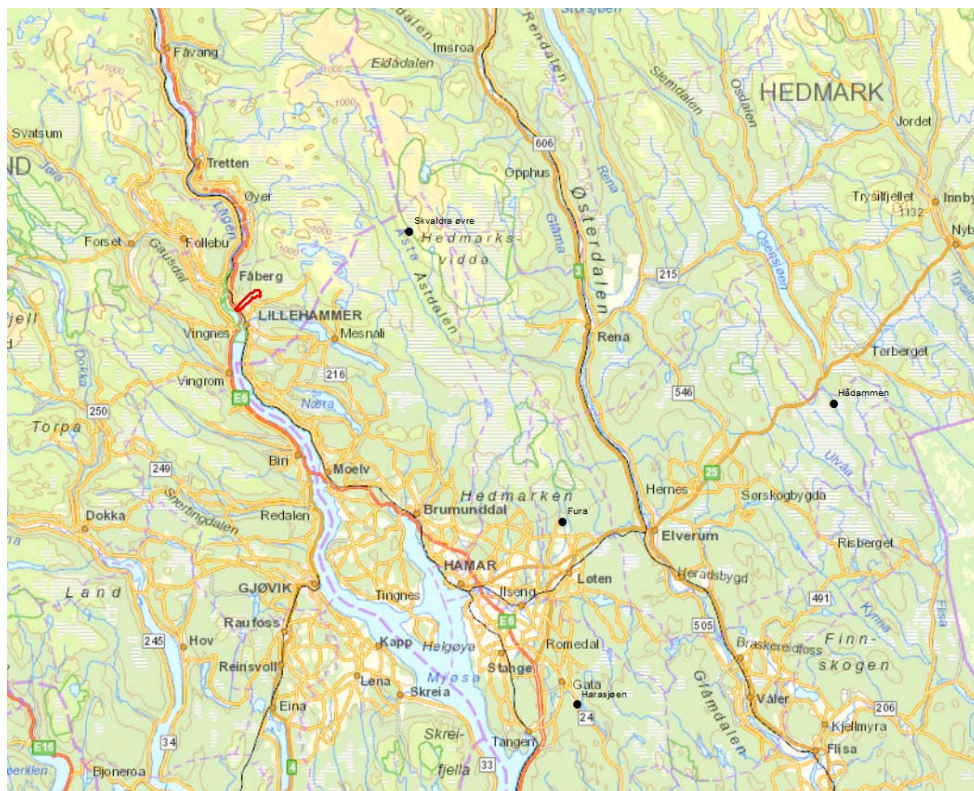
Analysene fra formelverk, frekvensanalyser og PQRUT ender opp i to estimater for 200-årsflommen (Q_{200}) for Flostrand. Frekvensanalysene og formelverket gir $Q_{200} = 111 \text{ m}^3/\text{s}$, mens flommodulen i PQRUT gir $Q_{200} = 166 \text{ m}^3/\text{s}$. Resultatene er svært forskjellige og det kan være utfordrende å bestemme hvilken verdi en skal gå for. Det er imidlertid viktig å huske på at begge tilnærminger er beheftet med en forholdsvis stor grad av usikkerhet. I vurderingen av middelflommen ble det antatt at Vassvatn ga et godt estimat for Flostrand, men selv om feltparametrene tilsier at stasjonen er representativ, kan det være andre faktorer som spiller inn og som gjør at denne antagelsen ikke er riktig. For felt med høy andel innsjø, vil for eksempel utformingen av utløpet av innsjøen kunne spille en vesentlig rolle, og dette er forhold en ikke nødvendigvis kjenner til når en utfører flomberegninger. Følgelig er det viktig å ha i bakhodet at usikkerheten fra formelverket tilsier at Q_{200} ligger mellom halvparten og det dobbelte av beregnet verdi som i dette tilfellet tilsvarer 44-174 m^3/s , og en kan merke seg at estimatet fra PQRUT ligger innenfor dette intervallet. Ettersom PQRUT antyder at resultatet fra flomfrekvensanalysene og formelverket muligens er noe lavt velges det her å justere opp estimatet med ca. halvparten av differansen mellom resultatet fra de to tilnærmingerne og følgelig blir dimensjonerende flom satt til 140 m^3/s som tilsvarer ca. 4500 $\text{l/s} \cdot \text{km}^2$. På bakgrunn av et forholdsvis godt datagrunnlag vurderes flomberegningen for Flostrand til å være «Middels» som er den nesthøyeste klassen i tabell 8. For å dimensjonere for fremtidig klima anbefales det å legge til et klimapåslag og fra kapittel 6.5 anbefales dette påslaget for små nedbørfelt å være på 20 %, men at opp mot 40 % bør vurderes for hver enkelt beregning. Fra «Klima i Norge 2100»-

rapporten (Hanssen-Bauer m. fl., 2015) kan en lese at klimafremskrivningene for 200-årsflommen i området varierer mellom 20-60 % avhengig av utslippsscenario og for Flostrand settes dette til 40 %. Følgelig blir 200-årsflommen med klimapåslag for Flostrand $1,4 \cdot 140,0 = 196 \text{ m}^3/\text{s} = 5900 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

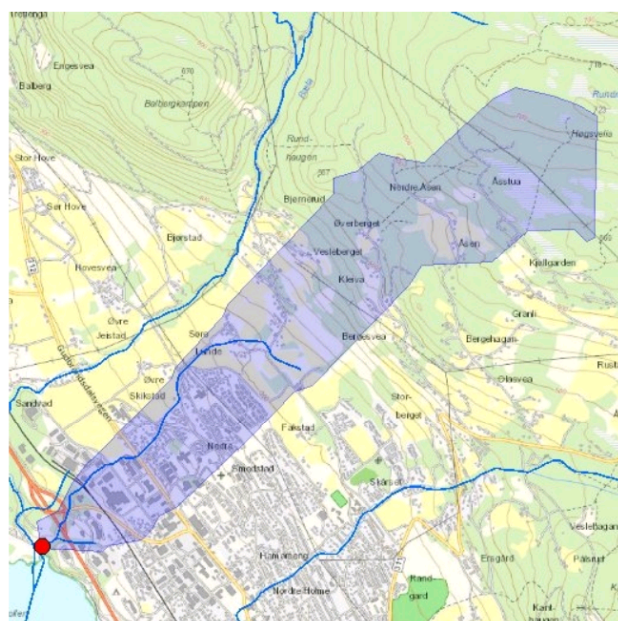
Flostrand er et nedbørfelt hvor det er utført vannstandsmålinger med fin tidsoppløsning siden slutten av 80-tallet. Beregningene i dette eksempelet er utført uten å benytte seg av observasjonene fra Flostrand og det er følgelig interessant å se i etterkant hvor nær «fasiten» en ender opp. Flostrand skiller seg ut fra andre målestasjoner i området i det at det har vesentlig høyere vannføringsverdier enn de andre stasjonene og dette gjør det vanskelig å komme høyt nok opp ved å gjøre analyser på nærliggende stasjoner. Middelflommen fra observasjoner ved målestasjonen Flostrand er på $61 \text{ m}^3/\text{s}$, altså $20 \text{ m}^3/\text{s}$ eller 50 % høyere enn det resultatet fra flomfrekvensanalysene. Ved å bruke observasjonene fra stasjonen blir Q_{200} $161 \text{ m}^3/\text{s}$ og følgelig endte dette regneeksempelet opp med å underestimere 200-årsflommen med 15 %.

Lundebekken

Det siste regneeksempelet er for et lite umålt nedbørfelt i Lillehammer kommune som har utløp i Gudbrandsdalslågen. Bekken det her utføres beregninger for er Lundebekken med et nedbørfelt på $2,8 \text{ km}^2$. Nedbørfeltet er valgt for å illustrere flomberegninger i områder med svært begrenset datatilgjengelighet. Figur 48 viser beliggenheten til nedbørfeltet (rødt) og målestasjoner (sorte sirkler) i området med nedbørfelt under 50 km^2 . Ved å anvende Lavvannsapplikasjonen NEVINA (nevina.nve.no) som er tilgjengelig gjennom NVEs hjemmesider, hentes feltkarakteristika for nedbørfeltet som skal analyseres, og resultatet er vist i Figur 49. 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 at det har tilnærmet lik null andel innsjø (forholdsvis lav dempningsgrad). Figur 50 viser et flyfoto over området som syntes å bekrefte godt resultatet fra GIS-analysen.



Figur 48. Viser nedbørfeltet til Lundebekken (rødt midt på kartet) og målestasjoner (sorte sirkler) som måler eller har målt vannføring i området.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N

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

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DD52
Kommune: Lillehammer
Fylke: Oppland
Vassdrag: VORMA-LÅGEN

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	14.5 l/s/km²
Alminnelig lavvannføring	0.3 l/s/km²
5-persentil (hele året)	0.4 l/s/km²
5-persentil (1/5-30/9)	0.2 l/s/km²
5-persentil (1/10-30/4)	1.1 l/s/km²
Base flow	6.0 l/s/km²
BFI	0.4

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	685 mm
Sommernedbør	359 mm
Vinternedbør	325 mm
Årstemperatur	1.2 °C
Sommertemperatur	9.3 °C
Vintertemperatur	-4.6 °C
Temperatur Juli	11.8 °C
Temperatur August	11.6 °C

Feltparametere

Areal (A)	3.0 km²
Effektiv sjø (S_{eff})	0.0 %
Elvelengde (E_L)	2.5 km
Elvegradient (E_G)	71.8 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G_{1085})	82.3 m/km
Feltlengde (F_L)	4.4 km
H_{min}	126 moh.
H_{10}	191 moh.
H_{20}	239 moh.
H_{30}	290 moh.
H_{40}	324 moh.
H_{60}	428 moh.
H_{60}	533 moh.
H_{70}	585 moh.
H_{80}	643 moh.
H_{an}	661 moh.
H_{max}	721 moh.
Bre	0.0 %
Dyrket mark	12.8 %
Myr	3.7 %
Sjø	0.0 %
Skog	47.3 %
Snautfjell	0.0 %
Urban	14.8 %

De estimerte lavvannsindeksene i denne regionen er usikre. Spesielt gjelder dette 5-persentil (vinter) når sjøprosenten er høy. Indekser som ikke er beregnet skyldes manglende parameter(e).

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

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

Figur 49. Rapport fra Lavvannapplikasjonen (NEVINA) med opplysninger om feltparametere.



Figur 50. Flyfoto over nedbørfeltet til Lundebecken.

Etter å ha fått oversikt over nedbørfeltet kan selve flomberegningen begynne. Som nevnt innledningsvis anbefales det å utføre beregninger ved bruk av flere metoder, og de metodene som bør vurderes brukt er beskrevet i kapittel 5. For Lundebebben anbefales det å bruke NIFS-formelverk, flomfrekvensanalyser, PQRUT og Rasjonale formel.

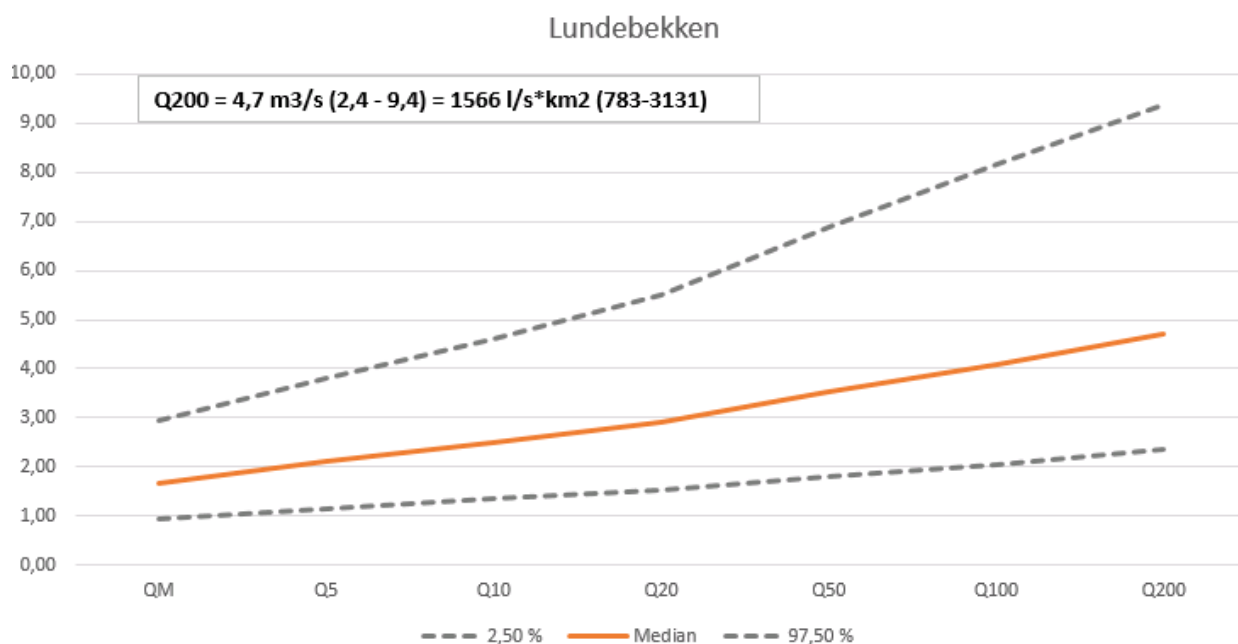
NIFS-formelverk

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 Lavannsapplikasjonen NEVINA. Areal og effektiv sjøprosent beregnes ut fra GIS-analyser, mens normalavrenningen hentes fra avrenningskartet (se forklaring i kapittel 1.2). Av de tre størrelsene er det normalavrenningen det er knyttet størst usikkerhet til og det anbefales å alltid gjøre en vurdering av denne når formelverket benyttes. Dette kan gjøres ved å sammenligne normalavrenningen fra avrenningskartet med normalavrenningen beregnet fra observasjoner i nærområdet. Figur 48 viser at det kun er et fåtall målestasjoner i området rundt nedbørfeltet til Lundebebben og i Tabell 13 sammenlignes normalavrenningen fra avrenningskartet og fra observasjoner for disse. Tabell 13 viser at det er svært god overenstemmelse mellom avrenningskartet for Hådammen, men at avrenningskartet ligger noe lavere enn observasjonene for Skvaldra øvre og Harasjøen. Stasjonen Svaldra øvre har kun 7 år med data, så denne sees bort ifra videre. For Fura er normalavrenning vesentlig lavere i avrenningskartet enn det som beregnes fra observasjoner. Fra avrenningskartet er normalavrenningen for Lundebebben 15 l/s·km². Da det kan virke som om avrenningskartet gir noe lave verdier i området justeres normalavrenningen for Lundebebben med det gjennomsnittlige avviket fra de tre stasjonene. Normalavrenningen for Lundebebben blir da 20 l/s·km².

Tabell 13. Viser normalavrenningen fra avrenningskartet og fra observasjoner for de fire stasjonene i området rundt nedbørfeltet til Lundebebben.

Stasjon	QN (61-90)	QN obs
Skvaldra øvre	37	41
Harasjøen	8	14
Hådammen	21	22
Fura	12	20

Når normalavrenningen er bestemt legges feltparameterne inn i formelverket og det første estimatet av 200-års flommen er vist i Figur 51.



Figur 51. Viser første estimat av 200-årsflommen for Lundebekken. Verdiene som står i parentes viser usikkerhetsintervallet (2,5 og 97,5-persentilen).

Flomfrekvensanalyser

For å utføre flomfrekvensanalyser for umålte nedbørfelt er det nødvendig å ha representative/sammenlignbare nedbørfelt med gode og lange tidsserier i området. Representativitet og sammenlignbarhet vurderes ut fra kriterier beskrevet i kapittel 3.6. Figur 48 viser et kartutsnitt med målestasjoner med nedbørfelt under 50 km² i området rundt Lundebekken. I Tabell 14 er disse listet opp sammen med de viktigste feltkarakteristika for å vurdere representativitet. Fra tabellen er det tydelig at det ikke er noen av stasjonene som kan forventes å være representative for Lundebekken, og følgelig må flomberegningen basere seg på de andre tilnærmingene.

Tabell 14. Viser feltkarakteristika for Lundebekken og potensielle representative målte nedbørfelt i området. For de potensielle representative sammenligningsstasjonene er også middelflommen presentert i l/s·km².

Stasjon	Areal (km ²)	QN (l/s*km ²)	Eff. Sjø (%)	Snaufjell (%)	Skog (%)	QM (l/s*km ²)
Lundebekken	3,0	19	0	0	47	
Skvaldra øvre	16,0	41	0,0	56	6	927
Harasjøen	52,2	14	3,5	70	89	163
Hådammen	38,0	22	1,0	0	70	242
Fura	38,8	20	0,0	0	80	463

PQRUT

For å utføre beregninger med nedbør-avløpsmodellen PQRUT må først modellen «kalibreres» ved å estimere modellparameterne K1, K2 og T (se kapittel 5.3). I tillegg må det bestemmes en dimensjonerende nedbørverdi og en konsentrasjonstid. For Lundebekken er modellparameterne estimert til

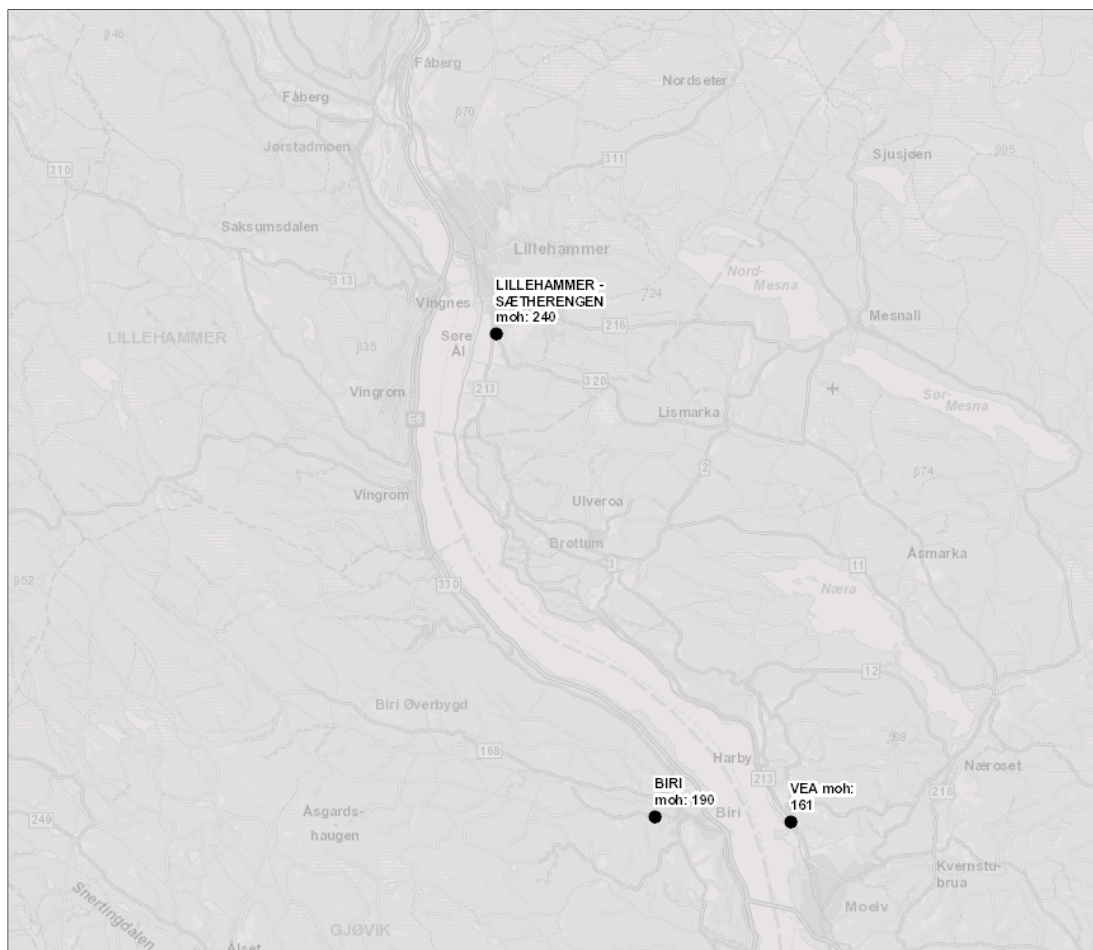
$$K1 = 0,341 \quad K2 = 0,064 \quad T = 4,7 \text{ mm}$$

Initialvannføringen ble satt til tre ganger normalvannføringen og metningsgraden til 100%.

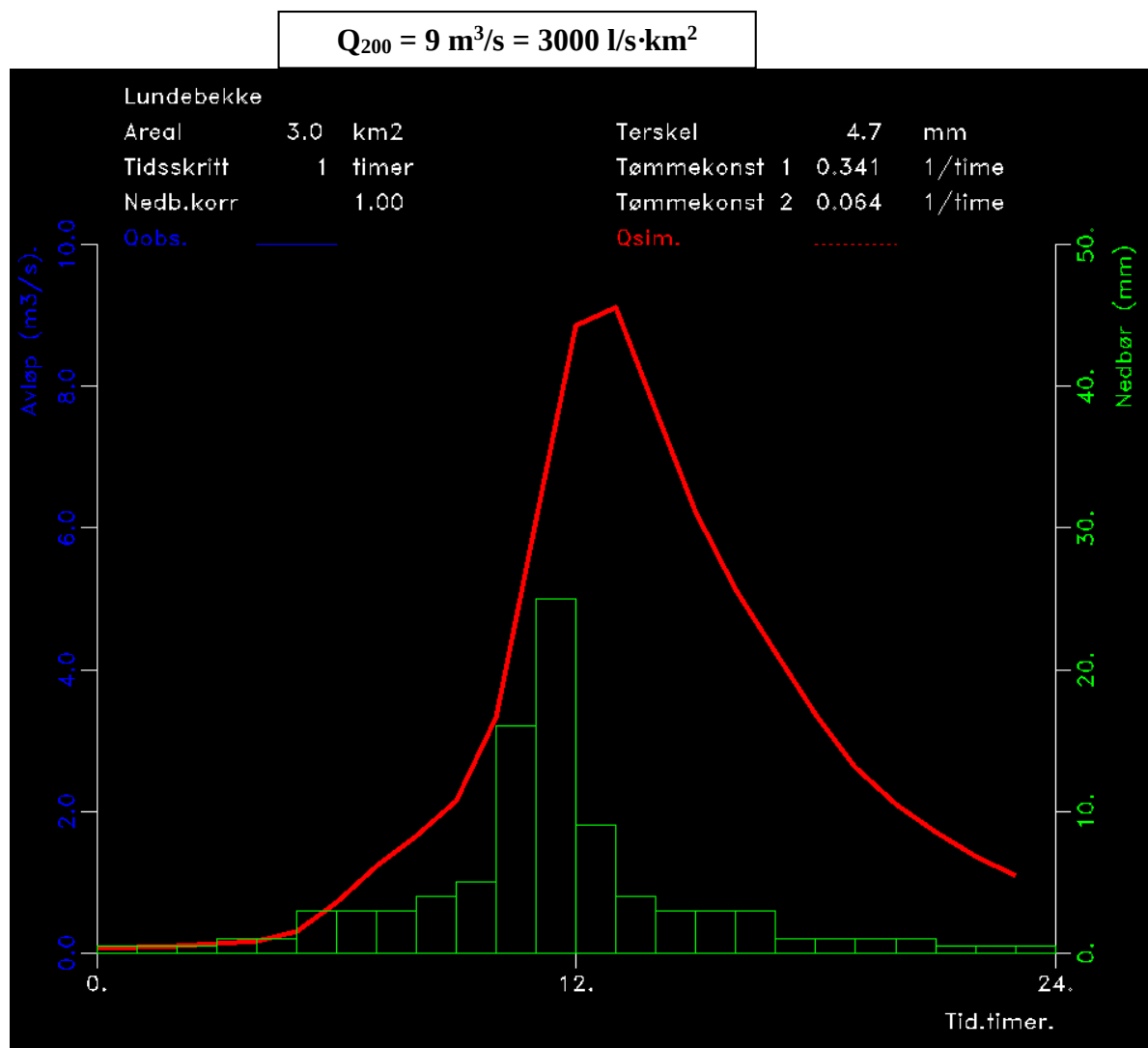
For svært små nedbørfelt som Lundebekken med lav dempningsgrad gir følgende formel et godt estimat av konsentrasjonstiden, T_c .

$$T_c = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3000 \cdot Ase = 0,6 \cdot 4400 \cdot 595^{-0,5} + 3000 \cdot 0 = 108 \text{ min} = \text{ca. 2 timer}$$

For å bestemme dimensjonerende nedbørverdi følges anbefalingene fra kapittel 2.3. For å få et første estimat av dimensjonerende døgnnedbør anvendes Figur 9. Kartet gir at verdien bør ligge i størrelsesorden 75-125 mm. Kartutsnittet (Figur 52) fra www.xgeo.no viser at det ligger 3 nedbørstasjoner i området rundt Lundebekken. Frekvensanalyser fra disse stasjonene gir 200 års døgnerverdi på mellom 75-100 mm. De høyeste observerte døgnerverdiene fra disse tre stasjonene er 80 mm (Vea), 86 mm (Biri), og 61 mm (Lillehammer - Sætherengen). De regionale analysene presentert i kapittel 2 gir at døgnerverdiene med 200-års returperiode for region Innlandet varierer mellom 40-110 mm. På bakgrunn av frekvensanalysene og de regionale analysene settes dimensjonerende døgnnedbør til 90 mm. For å bestemme dimensjonerende timesnedbør anvendes Figur 26 for å få et første inntrykk. For Innlandsregionen ligger timesverdien i størrelsesorden 35 % av døgnerverdien. Dette gir en timesverdi på 31,5 mm. Nedbørfeltet til Lundebekken ligger i et område hvor det er få stasjoner som observerer korttidsnedbør, men resultatet fra de regionale analysene beskrevet i kapittel 2.3.3 gir at timesnedbøren med 200 års returperiode i region Innlandet varierer mellom 15-25 mm. Dette gir grunn til å tro at verdien på 31,5 mm muligens er noe høy. I tilfeller som dette hvor dimensjonerende nedbørverdi blir høy i forhold til Meteorologisk Institutt sine analyser på korttidsnedbør anbefales det å anvende Figur 32 for å finne en mer realistisk dimensjonerende verdi. I dette kartet ligger Lillehammer i en sone hvor 200-års timesnedbør skal ligge mellom 20-30 mm. Ut i fra dette settes dimensjonerende timesnedbør til 25 mm og denne verdien brukes videre i beregningen. Figur 26 benyttes så for å konstruere nedbørforløpet. Feltparametere og nedbørforløp ble lagt inn i modellen og resultatet fra kjøringen er vist i Figur 53. Kjøringen ga en flom med 200-års gjentaksintervall på 9,0 m³/s som tilsvarer 3000 l/s·km².



Figur 52. Viser nedbørstasjoner i nærheten av Lillehammer.



Figur 53. Viser estimat av 200-års flom ved bruk av PQRUT.

Rasjonale formel

For å utføre beregninger med rasjonale formel er det tre avgjørende tall som må bestemmes. Det første er konsentrasjonstiden. Dette ble beregnet i beregningen for PQRUT til å være 108 minutter. Det neste som skal bestemmes er nedbøren som skal inngå i formelen. Varigheten på nedbøren som skal inngå i rasjonale formel skal være lik konsentrasjonstiden og følgelig anvendes her summen av de høyeste to timesverdiene som inngikk i nedbørforløpet til PQRUT-modellen. Dette gir en nedbørintensitet på 41 mm på ca. 120 minutter. Det siste som må bestemmes for å gjøre flomberegning ved bruk av rasjonale formel er å bestemme avrenningskoeffisienten, C. Anbefalingene i 6.4.1 beskriver at denne verdien stort sett bør ligge i størrelsesorden 0,4-0,6. Lundebekken har et nedbørfelt med skog i de øvre deler, dyrket mark i midtre deler og en urban del nederst. Dette medfører at en bør bruke en middels lav C-verdi. Ved å anvende anbefalingene fra kapittel 6.4.1 og tabeller for bestemmelse av C-verdi blir settes denne til 0,35. Når en skal beregne 200-årsflommen anbefales det imidlertid at en legger på 30% på denne verdien for å ta hensyn til metning og følgelig at større andel av nedbøren bidrar til avrenning. Dette gir en endelig C-verdi på 0,5 som brukes videre.

Ettersom arealet er kjent, er alt nå klart for å utføre beregningene og resultatet blir som følger:

$$Q_{200} = C \cdot i \cdot A = 0,5 \cdot 63 \cdot 300 = 8,9 \text{ m}^3/\text{s} = 2955 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$$

Sammenligning av resultater og anbefalt verdi

Denne flomberegningen har måttet belage seg på et svært begrenset datagrunnlag. Med ingen representative vannføringsstasjoner i området var ikke frekvensanalyser mulig å utføre for å gjøre et godt estimat av middelflommen og dimensjonerende flomverdier måtte baseres på resultater fra formelverk, PQRUT og rasjonale formel. Resultatene er som følger:

NIFS-formelverk: $Q_{200} = 2,4-9,4 \text{ m}^3/\text{s} = 783 - 3131 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$

PQRUT: $Q_{200} = 9,0 \text{ m}^3/\text{s} = 3000 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$

Rasjonale formel: $Q_{200} = 8,9 \text{ m}^3/\text{s} = 2955 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$

Når det utføres flomberegninger for nedbørfelt hvor det er så begrenset datagrunnlag som det som er tilfellet for Lundebecken, er det viktig å ta hensyn til dette i bestemmelse av dimensjonerende flomverdi. Lundebecken ligger i et område hvor avrenningskartet er usikkert og grunnet datamangel kan det ikke forventes å gjøre et godt estimat av middelflommen. Denne veilederen gjelder for naturlige felt og nedbørfeltet til Lundebecken er urbanisert i nedre deler. Følgelig er ikke Lundebecken 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 Lundebecken. Med en god overenstemmelse mellom PQRUT og Rasjonale formel, samtidig som at begge estimatene ligger akkurat innenfor usikkerhetsintervallet fra formelverket, settes dimensjonerende flomverdi med 200 års returperiode til $9,0 \text{ m}^3/\text{s} = 3000 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. På bakgrunn av et svært begrenset datagrunnlag vurderes flomberegningen for Lundebecken til å være «Svært stor» som er den laveste klassen i tabell 8. For å dimensjonere for fremtidig klima anbefales det å legge til et klimapåslag og fra kapittel 6.5 kan en lese at for små nedbørfelt bør dette være på 20 %, men at opp mot 40 % bør vurderes for hver enkelt beregning. Ved å bruke resultatene fra «Klima i Norge 2100» settes klimapåslaget for Lundebecken til 30 %. Følgelig blir 200-årsflommen med klimapåslag for Lundebecken $1,3 \cdot 9,0 = 11,7 \text{ m}^3/\text{s} = 3900 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$.

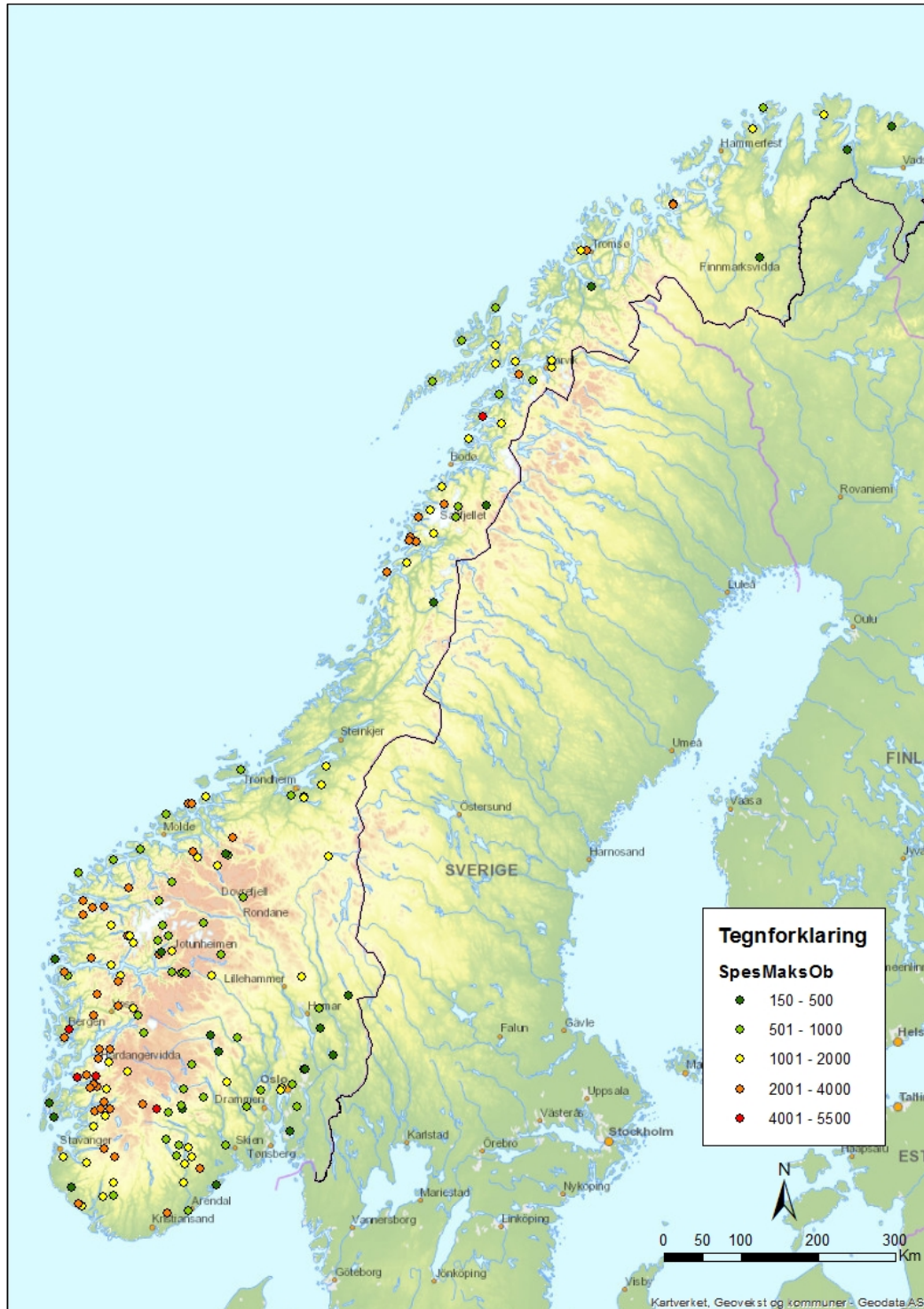
Vedlegg 7 – Kart over målestasjoner

Kartet nede viser målestasjoner (i drift og nedlagte) som er blitt brukt i NIFS prosjektet, delprosjekt 5.1. Det er utført flomfrekvensanalyser for alle målestasjonene i samband med NIFS prosjektet (Stenius mfl. 2015), totalt 170 stasjoner med feltarealet 0,2 – 56,6 km².



Vedlegg 8 – «Observerte» flomverdier

Kartet nede viser høyeste «observerte» spesifikke flomverdier fra målestasjonene vist i vedlegg 0. Observer at selv «observerte» vannføringsverdier er beregnede verdier fra observerte vannstander som omregnes via en vannføringskurve. Merk at en vannføringskurve ikke et statisk sammenheng mellom vannstander og vannføringer, men kan endres/revideres ved for eksempel nye høyere observasjoner/målinger av vannstander og vannføringer i elven. Som følge av revidert vannføringskurve kan også de høyeste «observerte» verdiene endres. For mer om vannføringskurver se kapittel 2.2.1.



Vedlegg 9 – Variasjon av flomverdier i ulike landsdeler i Norge

I NIFS prosjektet delprosjekt 5.1 (Stenius m. fl., 2015) er det sett på variasjoner av spesifikke flomverdier i de ulike landsdelene i Norge. 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 til dels mye høyere enn timesverdien. Det er både sett på verdier fra flomfrekvensanalyser, formelverket for små felt og en kombinasjon av begge metodene. Ved kombinasjonen er middelflommen fra frekvensanalysen brukt i sammen med vekstkurven fra formelverket, denne metoden er mest vektlagt her.

Det er stor variasjon på stasjonstetthet over landet, se kart i vedlegg 0 eller 0. Deler av Nordland og Vestlandet er forholdsvis godt dekket med Finnmark, Troms, Trøndelag samt store deler av Østlandet er spesielt dårlig dekket. Også i Agder er det forholdsvis sparsomt med stasjoner. Dette medfører at «erfaringstallene» her nede, til dels bygger på et svært begrenset datagrunnlag og feilaktigheter/usikkerheter ved en stasjon kan ha stor innvirkning på verdiene.

Spesifikke kulminasjonsverdier (time) for en 200-års flom

På Østlandet (Hedmark, Oppland, Akershus, Oslo, Buskerud og deler av Telemark), vassdragsnummer 1-16, varierer flomverdiene i stort sett 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, Aust- og Vest-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 kartet over) 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 verdien 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 Finnmark og de laveste verdiene finner en på Finnmarksvidda, lengst øst i Finnmark og/eller for felt med høy effektiv sjøprosent.

Vedlegg 10 – Middelflom fra 170 målestasjoner

Tabellen nede presenterer middelflommer, kulminasjons- og døgnverdier, for 170 målestasjoner i Norge med små nedbørfelt (0,2-56,6 km²). Det er i tillegg presentert feltareal (A), middelvannføring (q_N 61-90), effektiv sjøprosent (A_{SE}), forholdstallet (Q_{mom}/Q_{døgn}) og maksimale observerte spesifikke flomverdier (q_{obs maks}) fra hver enkelt stasjon. Forholdstallet Q_{mom}/Q_{døgn} er forholdet mellom middelflom med døgnverdier og middelflommen med kulminasjonsverdier fra den enkelte stasjonen. Observer at forholdstallet kan endre seg hvis en for eksempel ser på forholdet mellom kulminasjon og døgn for de høyeste observerte flommene, hvis en sammenligner flomverdier (på kulminasjon og døgn) med høyere gjentakintervall og/eller nye flommer blir observert.

Observer at beregningene er utført i perioden 2010-2014 og bør ikke brukes direkte i analyser siden mange av stasjonene har mer data per dags dato. Hvis data fra en av stasjonene i tabellen skal benyttes i en analyse anbefales beregningene/frekvensanalysene å gjøres på nytt før å få med seg lengst mulig tidsserie og mest mulig informasjon.

Stasjon	A	q _N	A _{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs, maks}	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
2.1 Hådammen	38,0	20,8	0,81	14	236	203	1,16	353	
2.10 Sogna	22,5	14,7	0	14	432	277	1,56	1332	Svært mye ukontrollerte data. Mye data mangel.
2.36 Øvre Heimdalsvatn	24,9	34,2	3,13	11	287	223	1,29	590	
2.61 Orva	25,5	18,5	6,37	13	860	615	1,40	1772	Mye hull.
2.288 Harasjøen	51,4	7,9	3,54	34	158	151	1,04	424	
2.299 Sulheim	45,5	28,7	0,02	12	361	242	1,49	608	
2.323 Fura	39,7	12,0	0	40	319	220	1,45	889	Usikker feltstørrelse pga. bifurkasjon. Feltstørrelsen kan trolig variere mellom ca. 39-45 km ² . Det er her brukt en feltstørrelse på 39,7 km ² .
2.469 Skvaldra øvre	16,2	36,9	0,01	7	910	841	1,08	1136	
2.590 Vikka	11,5	14,4	0,01	14	124	74	1,68	310	Meget usikre data. Isproblemer, ikke gode flomvannfønger.
2.592 Fokstua	26,4	20,0	0	19	323	206	1,56	765	

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q ^N	A ^{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
2.616 Kuggerud	48,4	14,8	1,15	34	143	124	1,16	270	
3.11 Sagstubecken	3,39	18,7	0,03	21	386	237	1,63	790	
3.33 Guthusbekken	3,62	14,9	3,26	7	293	243	1,21	343	
6.10 Gryta	7,05	20,6	0,41	43	288	212	1,36	833	
8.6 Sæternbekken	6,23	17,5	0,01	34	552	266	2,08	1596	
8.8 Blomsterkroken	22,5	18,3	0,27	27	413	275	2,00	1192	
11.4 Elgtjern	6,63	19,9	3,62	29	260	219	1,18	588	
12.13 Rysna	50,8	25,2	0,87	33	439	282	1,56	1027	
12.150 Buvatn	23,3	11,5	4,72	32	174	166	1,05	286	
12.193 Fiskum	51,7	17,4	0,11	32	266	209	1,27	578	
12.212 Hangtjern	11,1	22,2	0,68	25	299	215	1,39	504	
15.55 Økta	49,4	17,6	4,05	13	204	176	1,16	432	Nedlagt
15.72 Sørkja	36,3	27,1	5,38	7	396	204	1,95	1065	Nedlagt
16.66 Grosettjern	6,60	29,2	3,06	43	254	221	1,15	609	
16.108 Gjevarvatn	33,3	17,0	5,47	16	277	259	1,07	435	Nedlagt
16.112 Byrteåi	37,3	50,2	0,12	25	2371	870	2,72	5313	Stor ekstrapolering og usikkerhet i vf-kurven på høye verdier.
16.122 Grovåi	42,7	19,2	0,27	37	490	344	1,42	865	
16.127 Viertjern	46,8	29,5	1,74	26	317	259	1,23	616	
16.132 Gjuvå	33,1	38,2	1,88	24	364	263	1,38	579	
16.154 Brusetbekken	7,43	9,3	0,43	21	407	267	1,52	643	
16.189 Bjørntjønn	34,6	22,8	1,46	20	300	250	1,20	527	
18.11 Tjellingtjernbekken	1,95	24,2	1,53	30	849	446	1,90	2687	
18.12 Skardavatn	17,7	15,3	15,69	6	89	89	1,00	152,0	Nedlagt
19.78 Grytå	18,7	24,2	5,6	22	484	333	1,45	900	

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q ^N	A _{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
19.79 Gravå	6,31	22,0	0,03	34	406	228	1,78	978	
19.80 Stigvassåi	14,0	27,4	0,24	39	696	426	1,64	1659	
19.82 Rauåna	8,93	23,9	0	31	779	384	2,03	1674	
19.89 Skornetten	2,56	27,4	0	25	886	413	2,14	1379	Nedlagt
19.91 Åbogtjønn	1,15	30,6	3,35	16	536	368	1,46	826	Nedlagt
19.96 Storgama ovf.	0,52	39,0	4,71	36	817	483	1,69	1269	
19.107 Lilleelv	39,1	24,8	2,05	18	343	303	1,13	561	
20.11 Tveitdalen	0,44	34,6	0,00	40	1491	564	2,65	2573	
21.47 Lislefjodd	19,0	35,8	0,05	30	827	469	1,76	2837	
25.8 Mygland	46,9	58,0	0,47	8	768	495	1,55	998	
25.32 Knabåni	49,2	68,9	0,45	16	1169	628	1,86	1740	
26.21 Sandvatn	27,5	28,5	3,93	38	583	484	1,20	1016	I følge data fra stasjonen er middelavrenningen på 64,5 l/s·km ² til forskjell fra avrenningskartet som gir 28,5 l/s·km ² .
26.26 Jogla	31,1	70,3	0,1	40	1280	625	2,05	3164	
26.29 Refsvatn	53,0	58,4	1	34	834	606	1,38	1341	
26.64 Rekedalselv	10,1	46,0	1,4	13	1098	669	1,64	2140	
27.14 Saglandsvatn	1,85	41,6	15,01	19	218	203	1,08	319	Nedlagt
29.7 Gramstaddalen	1,05	43,2	0	21	1197	463	2,59	1962	
30.6 Norddal	32,7	86,7	3,84	7	943	624	1,51	1596	Nedlagt
31.10 Venekvev	1,61	108,1	0	20	2028	1001	2,03	3702	
35.9 Osali	22,5	86,5	4,92	22	937	770	1,22	1315	
35.16 Djupadalsvatn	45,3	70,3	3,54	22	726	626	1,16	1374	
36.9 Middal	45,9	62,2	0,15	29	676	481	1,40	1048	
36.12 Fossåna	10,7	92,7	0,24	11	1545	849	1,82	2122	Nedlagt

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q ^N	A ^{SE}	Ant. år i ber.	q ^M , kulm.	q ^M , døgn	Q ^{mom} / Q ^{døgn}	q ^{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
36.13 Grimsvatn	34,5	92,2	1,29	37	1326	867	1,53	2130	
36.32 Lauvastøl	20,7	105,1	0,38	18	1345	781	1,72	2136	
36.34 Prestvika	2,43	65,7	0	20	1176	673	1,75	2638	
37.8 Buer	18,7	134,3	0,47	9	2078	1088	1,91	2886	Nedlagt
37.27 Breiborgvatn	12,4	101,9	2,81	15	966	718	1,34	1631	
39.1 Tysvær	3,34	41,6	15,11	37	216	190	1,14	362	
39.2 Kallandsvatnet	7,68	41,9	7,91	6	221	207	1,06	385	
41.7 Blomstølvatn	25,6	139,6	1,91	17	1999	1268	1,58	3458	Nedlagt
41.8 Hellaugvatn	27,2	125,9	1,97	27	1314	938	1,40	2083	
42.2 Djupevad	31,9	107,6	0,34	41	2053	1056	1,94	4062	
42.6 Baklihøl	19,9	151,5	0,15	27	2704	1426	1,90	4471	
42.16 Fjellhaugen	7,22	109,1	1,08	15	2140	1075	1,99	3414	
46.7 Brakhaug	9,25	116,0	0,24	29	1593	991	1,61	2575	Nedlagt
46.9 Fønnerdalsvatn	7,01	122,2	1,82	27	1580	997	1,58	3916	
48.2 Raundalsvatn	10,8	98,6	2,58	14	1196	827	1,45	2083	
48.4 Jordal	51,3	115,4	0,13	18	832	603	1,38	1487	Nedlagt
50.10 Isdøla	56,6	45,7	1,81	13	400	351	1,14	572	
51.3 Osseter	26,5	84,5	1,73	15	590	501	1,18	975	Nedlagt
55.4 Røykenes	50,1	100,7	2,24	31	1269	948	1,34	2639	
55.5 Dyralsvatn	3,31	145,7	4,09	27	2115	1200	1,76	4447	
61.8 Kaldåen	15,9	107,6	0,09	22	2495	983	2,54	3170	
62.14 Slondalsvatn	41,9	71,9	2,72	21	708	546	1,30	1251	
62.16 Kvitno	41,6	57,4	0,09	16	1336	734	1,82	2377	Nedlagt
63.12 Fjellanger	12,8	94,8	0,89	17	1433	793	1,81	2454	
68.1 Kløvtveitvatn	4,47	137,4	21,34	34	554	521	1,06	794	

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q _N	A _{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
68.2 Havelandselv	21,0	125,3	0,84	11	2213	1202	1,84	3447	
70.7 Tistel	15,9	47,7	0,01	16	720	411	1,75	1300	
70.8 Målset	7,71	72,9	2,61	28	1210	773	1,57	2844	
73.14 Valdresdøla	16,4	34,2	1,42	8	402	330	1,22	585	
73.21 Frostdalen	25,8	34,7	2,31	21	544	462	1,18	1227	
73.27 Sula	30,3	33,5	3,78	29	424	352	1,20	758	
74.16 Langedalen	23,8	59,3	0,6	31	596	427	1,40	1142	
74.24 Nysetvatn	29,0	49,4	2,11	18	443	381	1,16	707	
75.20 Åsetvatn	29,7	47,9	6,05	10	459	425	1,08	570	
75.23 Krokenelv	45,9	47,3	0,05	47	854	519	1,64	3120	
75.28 Feigumfoss	48,0	45,2	1,31	37	366	327	1,12	490	
76.11 Vigdøla	27,9/ 45,5	69,7	0,41	22	801	471	1,70	759	Inntaket har aldri overløp ifølge Statkraft og målestasjonen kan dermed betraktes som uregulert med et felt på 27,9 km ² . Nat. areal er på 45,5 km ² . A _{SE} er 0,41 for naturlig felt og 0,32 for restfelt.
76.15 Bruvollselvi	7,69	73,7	7,09	15	611	511	1,19	900	
78.8 Bøyumselv	40,4	108,1	0,16	29	899	563	1,60	1672	
79.3 Nessedalselv	30,1	63,4	1,33	28	805	552	1,46	1650	
80.4 Ullebøelv	8,39	99,7	1,21	26	1450	957	1,52	2844	
81.1 Hersvikvatn	7,08	61,0	19,37	27	269	251	1,07	363	
84.12 Ytste Langvatn	20,4	94,5	10,19	21	618	570	1,08	1053	
84.19 Sygnesandselva	10,5	101,1	0,01	14	1607	728	2,21	2662	
84.30 Lunde	34,4	106,2	0,89	13	921	726	1,27	1382	
85.3 Svartebotten	4,63	163,1	2,52	21	1566	980	1,60	2205	

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q _N	A _{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
86.7 Bortne	15,8	95,5	0,05	15	2428	1230	1,97	3783	
86.12 Skjerdalselv	23,8	118,7	0,98	26	1668	1031	1,62	2907	
86.23 Breelva	8,27	172,0	0,00	18	1070	790	1,35	2061	
88.15 Grasdøla	34,4	70,7	2,14	17	424	340	1,25	599	Mye korreksjoner, usikre flomverdier.
91.2 Dalsbøvatn	25,7	63,7	4,72	28	477	425	1,12	804	
96.3 Hareidselv	40,3	42,9	5,44	19	488	346	1,41	895	
97.4 Skjåstad	10,2	72,5	0	29	614	344	1,79	1401	Skjåstad og Sleddalen er plassert i samme vassdrag. Sleddalen er plassert noe oppstrøms og burde dermed ha lit mindre vann sammenlignet med Skjåstad, men dette er ikke tilfelle. Det er lagt en 0-serie mellom de stasjonene der det er et klart skille/diskontinuitet i overgangen.
97.5 Sleddalen	9,30	73,9	0	14	1458	757	1,93	2122	
99.17 Rødøla	22,7/ 49,9	50,4	6,2	13	629	393	1,60	614	Naturlig areal er 49,9 km ² . Effektivt felt, etter at pumpekraftverk er satt i drift, er 22,7 km ² (Tjinna Krv.1995). Det kan være overløp fra Vikvatn Magasin. A _{SE} for restfeltet er 0,6%.
101.1 Engsetvatn	39,9	54,9	10,98	21	277	268	1,03	668	
103.20 Morstøl bru	44,4	68,8	0,24	39	740	493	1,50	2528	
104.22 M.Mardalsvatn	13,7	56,7	4,15	27	778	606	1,28	1567	
107.3 Farstadelva	24,2	45,6	2,79	47	355	279	1,27	811	
109.27 Råhamran	30,0	35,1	0,36	13	406	350	1,16	650	
109.28 Grynna	27,4	45,2	1,66	13	286	258	1,11	420	
109.35 Håkådalselv	23,6	39,6	2,72	19	798	567	1,41	1557	
110.1 Kariholå	0,29	41,2	0,00	24	1155	355	3,25	3612	
110.2 Draget	0,19	42,3	0,00	26	1089	416	2,62	2490	
111.10 Nauståa	24,8	71,0	0,32	32	1154	636	1,82	3474	

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q _N	A _{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
114.1 Myra	16,5	47,2	0,01	22	1273	676	1,88	1762	
117.4 Valen	39,7	29,2	4,76	30	289	270	1,07	606	
122.23 Klett	10,0	14,9	0	12	639	362	1,76	986	
123.28 Hokfossen	8,35	27,9	1,24	28	423	282	1,50	653	
123.29 Svarttjørnbekken	3,04	28,3	0,85	42	628	383	1,64	1082	
123.30 Øvre Hestsjøbekk	1,93	29,9	0	26	712	421	1,69	1295	
124.15 Børstad	48,5	25,2	0,17	17	1450	957	1,52	1470	
126.2 Engstad	20,2	17,4	0	19	775	460	1,68	1173	
150.1 Sørra	6,60	43,3	0	44	947	469	2,02	3486	
151.12 Østre fiskelausvatn	16,9	40,4	8,47	13	291	276	1,06	425	
153.1 Storvatn	48,0	96,9	8,09	40	966	850	1,14	1494	
156.24 Bogvatn	36,2	74,3	8,88	22	612	554	1,10	880	
156.27 Leiråga	44,1	97,0	0,12	35	1154	764	1,51	1737	
157.3 Vassvatn	16,3	122,9	6,14	25	1254	950	1,32	2664	
157.4 Flostrand	33,2	105,1	6,08	21	1687	1170	1,44	3303	
157.5 Silavatn	15,0	106,0	9,43	6	1874	1333	1,41	2878	Kort serie. Har kun midlertidig kurve. Høyeste flommålingen: 3.9 m ³ /s.
159.3 Engabrevatn	53,3	111,5	2,25	19	755	674	1,12	1224	
159.5 Strømdalen	22,4	74,3	0,2	28	1683	910	1,85	2776	
160.7 Skauvoll	19,8	83,9	1,49	16	910	703	1,29	1496	
160.14 Navnløsvatn	7,34/ 4,13	78,5	9,1	15	955	854	1,12	3366	Naturlig feltareal er 4,13 km ² men et lite felt (Sandvatn) er permanent overført da blir arealet 7,34 km ² . Det er usikkert om det er overløp fra Sandvatn i det naturlige utløpet noen ganger eller om det aldri forekommer. For nat.felt er A _{SE} =20,06%.

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q ^N	A _{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
161.6 Staupåga	18,5	54,2	0,21	16	596	426	1,40	615	
163.7 Kjemåvatn	36,5	33,9	7,14	43	291	281	1,03	430	
165.6 Strandå	23,6	49,4	2,02	19	793	633	1,25	1527	
168.2 Mørsvik bru	31,2	53,4	4,28	26	600	507	1,18	1335	
168.3 Lakså bru	26,7	69,1	7,43	21	1417	987	1,44	4336	Usikker VF-kurve på flom.
170.5 Kaldvågvatn	12,8	32,4	16,94	12	508	452	1,12	983	To ulike kurveperioder, begge er midlertidige. Usikkerhet knyttet til om og hvor det er segmentskille. Veldig usikkert kurvegrunnlag på flom.
172.7 Leirpoldvatn	18,8	52,1	4,31	29	1456	949	1,53	2620	VF-kurven gir mest sannsynlig for høye vannføringer
172.8 Rauvatn	21,2	46,1	5,06	17	432	407	1,06	842	
174.3 Øvstevatn	28,4	43,2	0,9	31	545	389	1,40	1160	
174.11 Taraldsvikelv	2,84	47,0	0	17	636	390	1,63	1158	
176.1 Myklebostad	17,8	39,1	4,5	13	821	599	1,37	1358	
177.4 Sneisvatn	29,6	94,1	2,27	20	904	684	1,32	1185	
178.1 Langvatn	18,4	73,6	6,29	33	554	482	1,15	1070	
180.1 Grønlivatn	7,41	45,4	1,77	20	622	453	1,37	900	
185.1 Gåslandsvatn2	7,60	50,1	19,68	32	321	303	1,06	509	
186.2 Ånesvatn	47,0	38,6	7,6	33	304	294	1,04	666	
196.7 Ytre Fiskaløsvatn	54,4	29,7	15,61	34	148	142	1,05	296	
197.4 Storelv	6,98	57,4	0,00	14	1566	728	2,15	3150	
197.8 Ersfjord	19,3	55,2	0,9	14	824	567	1,45	1514	
211.1 Langfjordhamn	14,9	61,1	3,38	19	614	511	1,20	874	
211.2 Andrevatn	13,5	61,1	1,59	15	654	533	1,23	945	

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Stasjon	A	q _N	A _{SE}	Ant. år i ber.	q _M , kulm.	q _M , døgn	Q _{mom} / Q _{døgn}	q _{obs} , mals	Kommentar
	km ²	l/s·km ²	%		l/s·km ²	l/s·km ²		l/s·km ²	
211.3 Tredjevatn	3,83	35,3	7,30	15	993	773	1,28	2298	q _N fra data er 64,5 l/s·km ² . Stor ekstrapolasjon på vf-kurven.
220.1 Hamnevatn	53,6	35,4	1,58	10	903	699	1,29	1524	
221.1 Magerøy	2,73	35,6	8,6	16	445	356	1,25	755	
230.1 Nordmannset	19,3	25,1	4,02	39	522	398	1,31	1031	
234.4 Smalfjord	30,1	17,4	4,19	22	130	126	1,03	217	
234.14 Cærrogasjokka	45,9	9,9	0,18	15	209	166	1,26	451	
237.1 Båtsfjord	21,9	36,2	1,43	23	260	236	1,10	398	Mye sprik (hopp opp og ned) på findata.

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022

Vedlegg 11 – Korreksjon av PQRUT parameterne K1, K2 og T

I Andersen m. fl. (1983) er det utviklet ligninger som beskriver parameterne, K1, K2 og T, med hjelp av feltparametere til det aktuelle feltet. Likningene har sine begrensinger når de benyttes til felt som har feltparameterverdier utenfor området likningene har blitt utledet for (Andersen m. fl., 1983). Variasjonsområdet til feltparametere er som følger:

Relieff forhold, H_L : 1.7 – 72.0 m/km

Effektiv sjøprosent, A_{SE} : 0 – 7.7 %

Normalavrenning, $q_{N,61-90}$: 13 – 105 l/s·km²

Hvis det er store innsjøer i feltet ($A_{SE} > 10\%$) og/eller det er innsjøer med trange utløpsforhold mener Andersen m. fl. (1983) at det er mest fornuftig å beregne tilsigsflommen til innsjøen med flommodellen og deretter route flommen videre nedover i vassdraget. Dersom ligningene likevel benyttes direkte til å beregne K1, K2 og T anbefaler Andersen m. fl. (1983) at følgende grove korrigering av K1 som regel benyttes:

A_{SE} er 10 - 15 % reduseres K1 med 25 %

A_{SE} er over 15 % reduseres K1 med 50 %

Videre mener Andersen m. fl. (1993) at det er grunn til å tro at verdiene for K1 sannsynlig ikke bør underskride 0,005-0,007. Observer at kalibreringene ble utført for et begrenset antall felt og det er mulig at resultatene skulle bli annerledes hvis det ble utført lignende analyser/kalibreringer i dag.

For felt med trange utløp er det ikke angitt noen generell korrigering, men ved sammenligning av to felt med trange utløp måtte den beregnede K1-verdien reduseres med ca. 2/3 for å komme ned til observerte/kalibrerte K1-verdier Andersen m. fl. (1993).

Hvis andelen myr og/eller bart fjell er høy anbefaler Andersen m. f. (1983) at verdien på K1 justeres opp på følgende måte:

Myr/bart fjell er 20 – 40 % økes K1 med 0,04 – 0,05.

Myr/bart fjell er større enn 40 % økes K1 med 0,08 – 0,1.

I følge Andersen m. f. (1983) kan K2 risikere å bli negativ eller større enn K1. Dette opptrer når K1 er liten hvilket som regel medfører at A_{SE} og terskelverdien T er høy. Andersen m. fl. (1983) anbefaler å sette $K2 = 0,5 \cdot K1$ når K1 er liten (0,005 – 0,15).

I Andersen m. f. (1983) er det ikke anbefalt noen korreksjon av terskelverdien T direkte.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

Utgått. Erstattet av NVE Veileder 1/2022