NVE

Jernbaneverket

Statens vegvesen

Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt

Revisjon av rapport 62-2014

Per Alve Glad, Trond Reitan og Seija Stenius

13
2015

RAPPORT

NIFS
NATURFARE
INFRASTRUKTUR - FLOM - SKRED

Rapport nr 13-2015

Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Per Alve Glad, Trond Reitan, Seija Stenius

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 123
Forsidefoto: NVE
ISBN 978-82-410-1060-6
ISSN 1501-2832

Sammendrag: Denne rapporten er en revisjon av rapport 62-2014. Rapporten presenterer 165 målestasjoner med små nedbørfelt og data med både døgnoppløsning og oppløsning som er finere enn døgn. For alle stasjonene er den største årlige flommen tatt ut. Det er utført flomfrekvensanalyser for alle målestasjonene. Det er også sett på hvor vidt det er rimelig å anta en fordelingsfamilie for hele landet fremfor å bestemme dette basert på lokal analyse som er vanlig i dag.

Emneord: Nasjonalt formelverk, frekvenskurver, små felt, NIFS

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

2015

Innhold

Forord **5**

Sammendrag **6**

1 Innledning **7**

2 Stasjonsoversikt **7**

2.1 Stasjonsutvalg og data 7

3 Metodikk **12**

3.1 Flomfrekvensanalyser 12
3.2 Formel for estimat av middelflom 12
3.2.1 Datasett 13
3.2.2 Transformasjoner og regresjonsledd (kovariater) 13
3.2.3 Modellvalg 14
3.2.4 Valg av modellvalgs-kriterie 16
3.3 Frekvenskurver 16
3.3.1 Valg av fordeling 16
3.3.2 Regresjonsanalyse for vekstkurven 17
3.3.2.1 Reparameterisering 18
3.3.2.2 Modellvarianter og modellvalg 18
3.3.2.3 Analyse av hver modell 19
3.3.2.4 Modellvalg 19
Modellvalgskriterie 19
Søkemetode: Stepwise up 19
Søkemetode: ”reversible jumps light” 20
Søkemetode: Pragmatiske søk 20

4 Resultater **21**

4.1 Resultat – Flomfrekvensanalyser 21
4.2 Resultat – Formel for estimat av middelflom 22
4.2.1 Middelflom vs log-middelflom som respons 22
4.2.2 Søkemetode; stepwise-up vs stepwise-down 22
4.2.3 Transformeringer av felt-parametere 23
4.2.4 Klassiske kriterier 23
4.2.5 Forbedringer av datasettet 23
4.2.6 Lasso-metoden 24
4.2.7 Bayesianske lineære modeller med MCMC-søk 24
4.2.8 Nye data 24
4.2.9 Romlig korrelasjon 25
4.2.10 Vannføringskurve- og samplings-usikkerhet 25
4.2.11 Parameterusikkerhet 26
4.2.12 Validering 26
4.3 Resultat – Frekvenskurver 27
4.3.1 Utfallsrom og modellsammenligning 29
4.3.2 Usikkerhet 35

5 Oppsummering **36**

Referanser **38**

6 Vedlegg 1 ..... **39**

6.1 Tabell med resultatene fra frekvensanalysene for hver enkelt stasjon 39

Forord

Etatsprogrammet ”NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)” er et samarbeidsprosjekt mellom NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen. Etatsprogrammet er oppdelt i flere ulike delprosjekter med underliggende aktiviteter. Denne rapporten er laget som en deloppgave, 5.1.6 Regionalt formelverk for indeksflom og frekvenskurver, av aktivitet 5.1, Flom- og dimensjoneringsberegninger i små felt. Rapporten inneholder resultater fra frekvensanalyser for 165 stasjoner med nedbørfelt mindre enn ca 50 km^2. Videre er det utført regresjonsanalyser og modellvalg for etablering av et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og vannføringer med høyere returperioder for små (<50 km^2) umålte nedbørfelt i Norge.

Oslo, februar 2015

seksjonssjef

Sverre Husebye

Sammendrag

Rapporten presenterer 165 målestasjoner med små nedbørfelt og data med både døgnoppløsning og oppløsning som er finere enn døgn. For alle stasjonene er den største årlige flommen tatt ut. Det er utført flomfrekvensanalyser for alle målestasjonene. Det er utført regresjonsanalyser og etablert et formelverk for beregning av middelflom og vekstkurver for å estimere flommer med høyere returperioder. En usikkerhetsanalyse viste at 95 % troverdighetsintervall for rent nasjonalt estimat av Q_M var gitt ved */1,77. Av de to kovariatene (midtilsiget og effektiv sjøprosent) som inngår i formelverket er det middeltilsiget som er mest usikkert. Denne verdien blir hentet direkte ut av avrenningskartet som varierer meget i kvalitet fra lokasjon til lokasjon og det er viktig at det gjøres en vurdering av denne størrelsen før formelverket anvendes. Videre ble det etablert et formelverk som kunne estimere vekstkurven for små umålte nedbørfelt. Altså hvordan gå fra middelflom til en flom med et høyere gjentaksintervall. Det ble først undersøkt om det var rimelig å anta at samme fordelingsfamilie kunne beskrive vekstkurven for alle umålte felt, eller om det gir bedre resultater å bestemme stasjonsspesifikk fordelingsfamilie ut i fra lokal analyse som ofte blir gjort i praksis. Resultatet var at én fordelingsfamilie var foretrukket og at det av de 16 fordelingsfamiliene som ble testet var den generaliserte logistiske fordelingen som var best. Resultatet fra analysene var en formel med 3 parametere hvor en av de er middelflommen som er beskrevet over. De to andre parameterne som inngår i formelen for vekstkurver er middelavrenningen (midlere årsavrenning i perioden 1961-90 i $l/s*km^2$) og effektiv sjøprosent. Det er helt klart at det er estimatet av middelflommen som gir opphav til den største usikkerheten i resultatene fra formelverket. Usikkerheten i estimatene fra formelverket er på */ 1,77 for middelflommen og øker gradvis opp til */ 2 for høye gjentaksintervaller (95 % konfidensintervall). Usikkerheten når en skal sammenligne formelverket med data kan oppsummeres ved at den for små gjentaksintervaller er ca */2 og for store gjentaksintervaller er den på */2,2 med et 95 % konfidensintervall. Dette er en konsekvens av at det er usikkerhet i vannføringskurven (overgangen fra vannstand til vannføring). Om en har noen lokale data tilgjengelig for å bedre estimatet av middelflommen, vil usikkerhetsbåndet kunne bli enda smalere, men dette vil være individuelt og usikkerheten må bestemmes ved en ordentlig analyse.

1 Innledning

Et ledd i NIFS prosjektets aktivitet 5.1 (Flom- og dimensjoneringsberegninger i små felt) er å kvalitetskontrollere observerte flomdata fra målestasjoner i små felt samt videreutvikle flomberegningsmetodikk for små felt i Norge. Følgelig er det laget en oversikt over alle vannføringsstasjoner som eksisterer og har eksistert og som har data på NVEs hydrologiske database i nedbørfelt mindre enn ca 50 km^2 (Stenius, 2013). Ut fra denne sammenstillingen er det valgt ut stasjoner etter utvalgte kriterier for videre analyser for de ulike deloppgavene i aktivitet 5.1. Denne rapporten beskriver analyser og resultater for flomfrekvensanalyser for 165 målestasjoner. Rapporten beskriver også utarbeidelsen av et nasjonalt formelverk for estimering av middelflom og vannføringer med større gjentaksintervall for umålte nedbørfelt i Norge.

2 Stasjonsoversikt

2.1 Stasjonsutvalg og data

Målestasjonene som presenteres i rapporten er valgt ut fra målestasjonene som presenteres i ”Vannføringsstasjoner i Norge med felt mindre enn 50 km^2 ” (Stenius, 2013). Stasjonene er valgt ut fra følgende kriterier:

1. Uregulert eller ubetydelig regulert.
2. Har minst 10 år med komplette findata eller forventes få det i løpet av kort tid (med noen få unntak).

Stasjonenes beliggenhet vises i figur 1. Det er noen geografiske områder som har særskilt dårlig dekning. I Troms og Finnmark er det få målestasjoner i små uregulerte felt som registrerer eller har registrert findata. I et relativt stort område nord for Trondheim er det ingen målestasjoner som tilfredsstiller de to kriteriene ovenfor. Det er i tillegg et stort område nord på Østlandet som har særdeles få målestasjoner som måler vannføring fra små felt.

I figur 2 vises det, i tillegg til stasjoner som oppfyller kriteriene ovenfor, stasjoner som ikke helt tilfredsstiller kriteriene:

- kan gjøre det om noen få år (nyopprettede stasjoner)
- nedbørfeltet er litt større enn 50 km^2 (50-60 km^2)
- stasjoner som kan ha limnigrafskjemaer som enda ikke er digitalisert
- få år med data (5-10 år) og/eller dårlig datakvalitet som ved særlige forhold eller for enkelte analyser kan være av interesse. Spesielt i områder der datagrunnlaget ellers er tynt.

En del av disse stasjonene ble brukt for å evaluere formelverket for estimat av middelflom.

I rapporten Norges hydrologiske stasjonsnett (Leine, 2013) er det utført analyser av dagens stasjonsdekning og det er utarbeidet anbefalninger til hva som bør prioriteres i

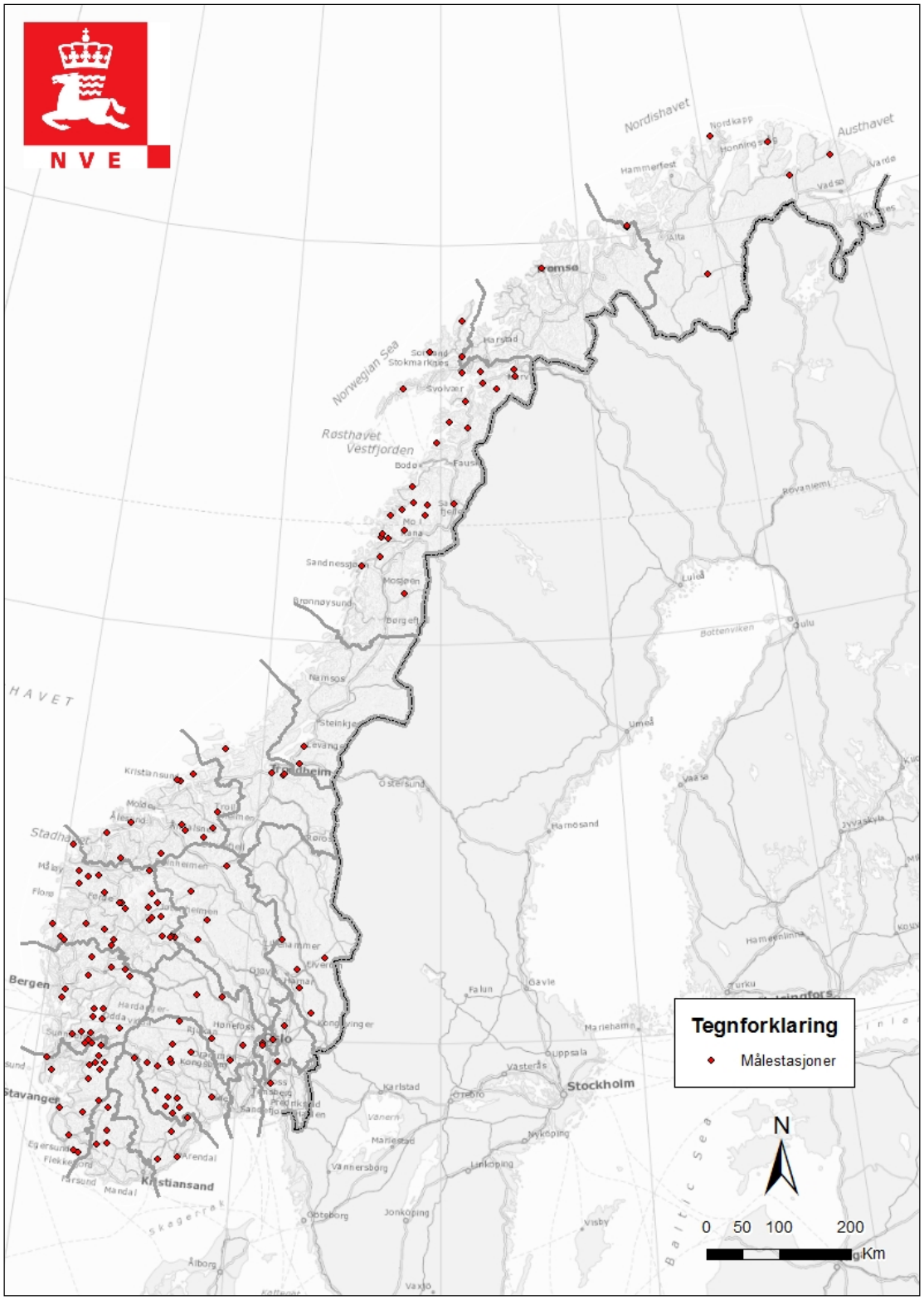
fremtiden av nye stasjoner. Dette kan med tiden bedre forholdene i de områdene som i dag har dårlig stasjonsdekning.

I tillegg til vannføringsdata, ble en rekke parametere hentet ut for hvert nedbørfelt for å inngå i regresjonsanalysene. Parameterne er gitt i tabell 1. I regresjonsanalysene ble kovariatene 'Areal', 'AVR_6190', 'MIDTILSIG', 'HEIGHT_MIN', 'Max-Min', 'FELT_LE_KM', 'Mean-24h' og 'ARF-KORR' log-transformert før analyse, siden disse er strengt positive. Kovariaten 'ELV_LE_KM' burde også være strengt positiv, men det ble her funnet nullverdier også. Kovariatene 'GRAD_ELV' og 'GRAD_FELT' hadde også nullverdier og ble bare delt på 100 for å ha de på samme skala som de andre kovariatene. Alle kovariater uttrykt i prosent ble gjort om til fraksjoner.

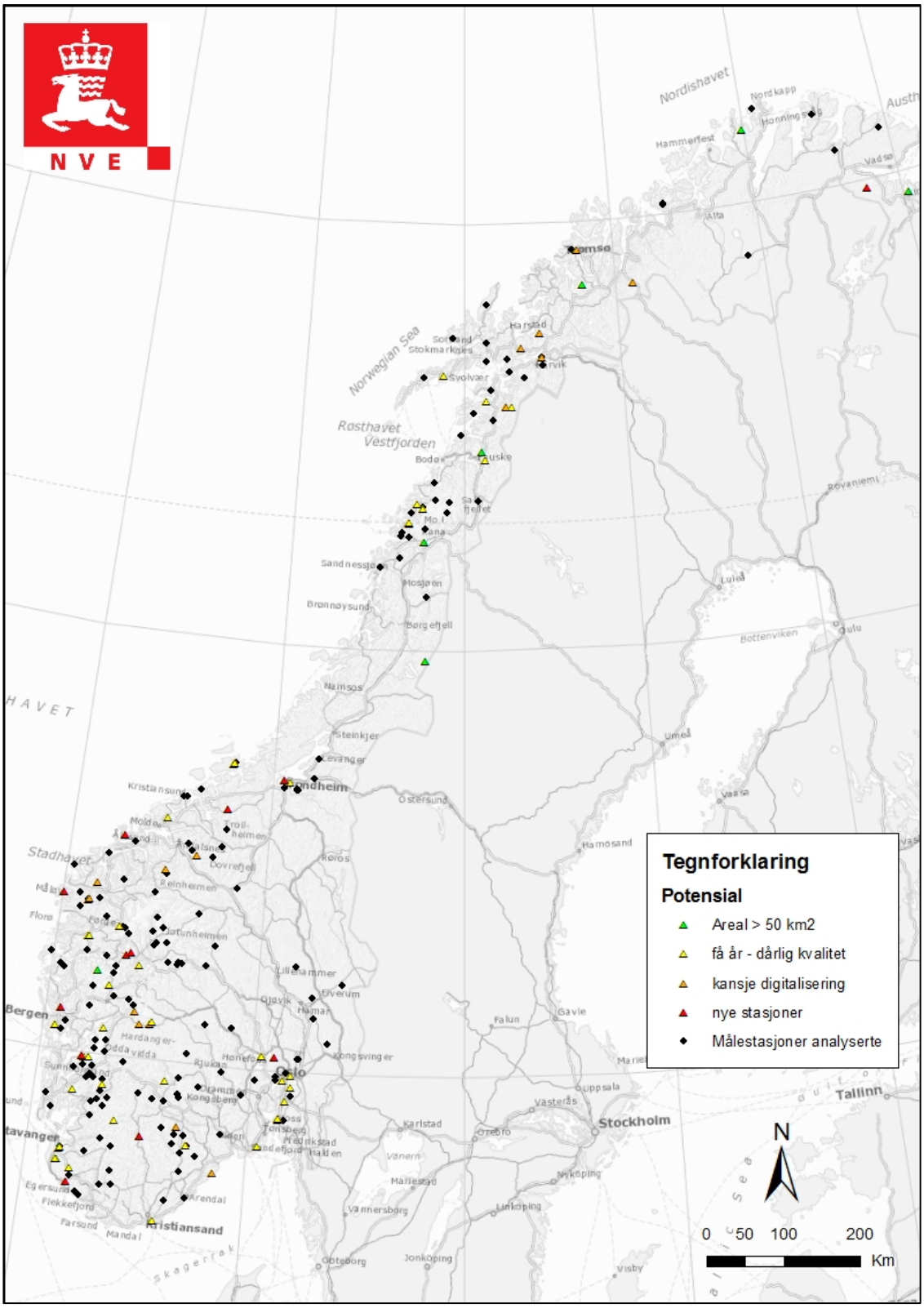
Tabell 1. Viser hvilke parametere som inngikk i regresjonsanalysene

Parameter	Beskrivelse, enhet
Areal	Nedbørfeltets areal, km^2
AVR_6190	Normalavrenning i perioden 1961-1990 hentet fra NVEs avrenningskart, $l/s*km^2$
MIDTILSIG	Normalavrenning i perioden 1961-1990 hentet fra NVEs avrenningskart, m^3/s
GRAD_FELT	Nedbørfeltets helning, m/km
GRAD_ELV	Elvens gradient i terrenget, m/km
HEIGHT_MIN	Laveste punkt i nedbørfeltet, moh
HEIGHT_MAX	Høyeste punkt i nedbørfeltet, moh
Max-Min	Høydeintervallet i nedbørfeltet, moh
FELT_LE_KM	Nedbørfeltets lengste akse, km
ELV_LE_KM	Elvens lengde i nedbørfeltet, km
JORDBRUKPRO	Andel av nedbørfeltet med jordbruksareal, %
MYRPRO	Andel av nedbørfeltet med myrareal, %
EFF_SJO	Effektiv sjøprosent, %
SKOGPRO	Andel av nedbørfeltet med skogsareal, %
BREPRO	Andel av nedbørfeltet med breareal, %
SNAUFJELLPRO	Andel av nedbørfeltet med snaufjellareal, %

Mean_24h	Gjennomsnittsverdi av døgnnedbør med 5 års gjentaksintervall, mm/døgn
ARF_KORR	Gjennomsnittverdi av døgnnedbør med 5 års gjentaksintervall. Arealredusert. mm/døgn



Figur 1. Uregulerte målestasjoner i felt mindre enn ca. 50 km² og minst ti år med registrerte findata.



Figur 2. Analyserte målestasjoner (sort, samme stasjoner som vises i figur 1) samt målestasjoner som kan være av interesse å analysere om noen år (nye stasjoner som fortsatt ikke har lang nok tidsserie (rødt)), hvis det er særlig grunnlag for det (få år med data og/eller dårlig datakvalitet (gult)), kan eventuelt få nok år med data hvis det finnes limnigrafskjemaer som kan digitaliseres (kanskje digitalisering (oransje)) og stasjoner som har et nedbørfelt som er mellom 50 og 60 km^2(grønt).

3 Metodikk

3.1 Flomfrekvensanalyser

Flomfrekvensanalysene ble utført i programmene ”Dagut” og ”Finut” som er databehandlingsprogram utviklet av NVE. Tidsseriene ble først kvalitetskontrollert og deretter ble årlig maksimumsverdier tatt ut både for døgndata og findata (data med høyere tidsoppløsning enn døgn). 165 stasjoner var med i analysen. For hver stasjon ble både døgn- og findata analysert og den statistiske fordelingen som best beskrev begge datasettene for gjeldene stasjon ble valgt. Der det var vanskelig å finne en fordeling som beskrev både døgn- og findata godt, ble det lagt mest vekt på den fordelingen som beskrev findataene best (visuell evaluering). Tabell 2 viser hvilke fordelinger som var med i analysen.

Tabell 2. Viser de statistiske fordelingene som var med i analysen.

Fordeling	Antall parametere
GEV (maximum likelihood)	3
GEV (L-moment)	3
Gumbel (maximum likelihood)	2
Gumbel (L-moment)	2
Weibull (maximum likelihood)	2
Weibull (L-moment)	2
Gamma (maximum likelihood)	2
Gamma (L-moment)	2
Lognormal (maximum likelihood)	2
Gauss	2

3.2 Formel for estimat av middelflom

Hensikten med analysen var å finne en ligning som best mulig beskrev middelflom (midlere kulminasjonsflom) som en funksjon av feltparametere, slik at man kan estimere middelflom i umålte nedbørfelt ut i fra feltkarakteristika. Et datasett på 17 feltparametere var tilgjengelig. Noen av disse var enkelt tilgjengelig mens andre kunne kreve en del arbeid å estimere eller kunne være gjenstand for usikkerhet og unøyaktighet.

3.2.1 Datasett

Datasettet bestod originalt av 99 stasjoner brukt til estimering og modellvalg, mens 14 stasjoner var satt av som valideringssett (mer om dette senere). Etter hvert kom det inn nye stasjoner også som opprinnelig så ut til å være rundt 50 i tallet, men som etter en sjekk på duplikater og manglende opplysninger ble redusert til 36 stasjoner. Endelig analyse ble altså gjennomført på 135 stasjoner og validert på 14, men initialanalysen ble altså gjennomført med et litt mindre datasett.

Feltparameterne som inngikk i analysen er listet i tabell 1. En breindikator samt en annen indikatorvariabel for regions-tilhørighet ble også undersøkt.

3.2.2 Transformasjoner og regresjonsledd (kovariater)

Oppgaven gikk ikke kun ut på å finne den beste lineær-sammenhengen mellom middelflom (respons) og et undersett av feltparametere, men også å finne ut om det lønte seg å transformere responsen (middelflom) eller noen av feltparameterne. Hva gjelder feltparametere ble det dermed gjort mulig å benytte et sett med transformasjoner av hver feltparameter som forklaringsvariabel (kovariat) i regresjonen. For feltparametere som kunne være negative ble kun kvadratisk og kubisk transformasjon tillatt. For feltparametere som var positive men tillot 0 ble kvadratrot og kubikkrot også tillatt og for strengt positive størrelser ble også logaritmisk transformasjon og kvadratet og kubikken av dette tillatt.

Hva gjelder responsen, var valget enten å bruke den som den var eller log-transformere den. Siden middelflom er strengt positivt mens regresjonsmetodene det var ønskelig å bruke antok normalfordeling (som tillater utfall over hele den reelle tallinjen), syntes det urimelig å anta en lineær regresjon på utransformert middelflom. Dessuten kan en lineær-regresjon på originalskala spå negative middelflommer for enkelte feltparameter-verdier som ligger utenfor datasettet men som likevel kan opptre i umålte felt. Etter en log-transformering kan derimot utfallene være på hele den reelle tallinjen. Transformeres dette tilbake igjen, må predikert middelflom være positiv uansett feltparameter-verdier. Likevel, hvorvidt responsen med fordel kan transformeres eller ikke kan avgjøres fra data. Selv om modellen ikke kan stemme om en ser strengt på den, kan den likevel fungere bedre innenfor datasettet.

Det kunne også hende at en kovariat modererte signalet fra en annen, såkalt interaksjon. Interaksjonsledd bruker multiplumet av to kovariater som en ny kovariat. Dette kunne også være interaksjoner mellom transformerte feltparametere. Med alle disse mulighetene var det stor frihet i hva slags resultat som kunne komme ut fra regresjonsanalysen.

I tillegg til lineær regresjon, ble også såkalte GAM-modeller (Generalized Additive Model) undersøkt. Disse tillater vilkårlige transformasjoner av hver kovariat, der transformasjonen selv blir estimert av metoden og der et straffeledd avgrenser kompleksiteten til denne transformasjonen. Denne regresjons-metoden ble brukt for å sjekke om det fantes modeller som var bedre og mer kompliserte enn de en kan oppdage med lineær regresjon. GAM vil være dårlig egnet til å oppsummere sammenhengen mellom middelflom og feltparametere, men kan angi forbedringspotensial i de modellene en ser på.

3.2.3 Modellvalg

Hvis man benytter seg av alle feltparameterne (og spesielt hvis man tar med transformasjoner og interaksjoner) vil det ikke lønne seg å ta med alle i en stor monsterligning. Hver av de estimerte regresjonskoeffisientene assosiert med hver kovariat (feltparameter) vil bli mer og mer usikker desto flere andre kovariater som er med i regresjonsanalysen. Når antall kovariater overstiger antall data bryter til og med standard lineær regresjonsanalyse sammen. I nesten all statistisk regresjonsanalyse er det derfor et poeng å kvitte seg med kovariater som er statistisk insignifikante eller som gir mer prediksjonsstøy p.g.a. usikre regresjonskoeffisienter enn den gir bedring i tilpasningsgraden. Det finnes flere muligheter for å sjekke om en kovariat bør med eller ikke;

a) Hypotese-testing: Testing av regresjonskoeffisientens signifikans. Dette er standard måte å sammenligne to modeller på i statistikken. Man setter et signifikansnivå og hvis sannsynligheten for å få en regresjonskoeffisient så stor som det man fikk, gitt at kovariaten egentlig ikke spiller noen rolle (p-verdien), er mindre enn signifikansnivået, sier man at regresjonsleddet er signifikant. Merk at dette kun tester to modeller, en med og en uten kovariaten. Den kan for eksempel ikke gi et svar på hvorvidt en modell med middeltilsig og effektiv sjøprosent er bedre enn en modell med areal og snaufjellsprosent (ikke-nøstede modeller). En stegvis oppbygging fra enklest mulig modell eller nedbygging fra den mest kompliserte (ikke mulig for vårt antall transformerte kovariater og interaksjoner) kan benyttes, men en kan lett få suboptimale resultater.

b) AIC: Man kan få et estimat på avveiningen mellom usikkerhet i regresjonskoeffisienter og tilpasningsgrad med AIC (Akaike's Information Criterion). En modell får en AIC-score ved å starte med tilpasningsgraden (karakterisert ved to ganger minus log-likelihood der likelihood er sannsynligheten for data gitt estimert modell) og trekke fra modellkompleksiteten (eller to ganger denne rettere sagt), altså antall regresjonskoeffisienter i modellen. En modell blir dermed ansett som god hvis den har et godt kompromiss mellom tilpasningsgrad og kompleksitet. AIC har i enkelte sammenhenger lett for å gi for kompliserte modeller. Analytisk kan det vises at hvis datamengden øker, vil den konvergere mot den rette modellen <u>eller en mer komplisert variant av denne</u>. AIC tillater både stegvis søken etter modeller eller full gjennomgang av mulige modeller, siden den tillater sammenligning av ikke-nøstede modeller. Dette gjelder også for de påfølgende modellvalgs-mulighetene.

c) BIC: Man kan få en annen avveining mellom usikkerhet i regresjonskoeffisienter og tilpasningsgrad med BIC (Bayesian Information Criterion). BIC ligner svært på AIC bortsett fra at den har et straffeledd for modellkompleksitet som er større, altså at den straffer kompleksitet hardere. Den er motivert fra Bayesiansk statistikk, men anvendes på klassisk (frekventistisk) estimerte modeller. Den skal konvergere mot rett modell når antall data går mot uendelig.

d) Lasso-regresjon: Dette er både en estimeringsmetode så vel som en modellvalgsmetode. Til forskjell fra de andre kriteriene nevnt her, fungerer denne

metoden kun for lineære modeller. Estimeringsmetoden benytter seg av et straffeledd for hver kovariat (dette vil fungere akkurat som en såkalt a' priori-fordeling i Bayesiansk statistikk). Estimeringsmetoden har dermed en innbygd avveining mellom tilpasningsgrad og kompleksitet som kan sørge for at regresjonskoeffisienten til mange kovariater settes lik null og dermed i praksis fjernes.

e) Kryss-validering: Her setter man til side ett eller flere datapunkter, kjører estimeringen på resten av datasettet og ser hvor mye regresjonsligningen bommer for de datapunktene som ble satt til side. Så går man videre ved å putte tilbake datapunktene og sette til side et nytt lite valideringssett. Kryssvalideringsresultatet er så midlere tilpasningsgrad for de tilsidesatte datapunktene når hele datasettet har fått en slik behandling. Gjøres dette for ett og ett datasett blir metoden ofte kalt 'jack-knifing'. Denne metoden er mye tyngre enn AIC/BIC fordi den for et datasett med hundre punkter krever 100 tilpasninger i stedet for en, så en gjennomsøkning av mulige modeller vil ta hundre ganger så lang tid som AIC/BIC. Ved å kjøre kryssvalidering på blokker i stedet for enkeltpunkter kan metoden speedes opp, men vil fremdeles kreve mange tilpasninger per modell.

f) Bayesiansk modellsammenligning: Akkurat som for lasso-metoden innebærer dette en annen estimeringsmetode for lineær regresjon enn den «klassiske». Bayesiansk analyse foretas ved at en førkunnskap på hvert regresjonsledd (samt andre modell-parametre) angis. Kunnskapen om hvert regresjonsledd oppdateres så med data. Førkunnskapen ble valgt på formen naturlig konjugert a' priori-fordeling slik at Bayesiansk lineær regresjonsanalyse kunne foretas analytisk. Støyparameter ble gitt en invers-gamma-fordeling med $\sigma \sim IG(\alpha = 1, \beta = 1)$, mens regresjonsparametere gitt støyparameter var fordelt som $\beta \sim \sigma \cdot N(0, 1000^2)$. Dette er en forholdsvis vag a' priori-fordeling som tar hensyn til det store men tross alt endelige spennet i kovariatverdier uten å ha en spesialtilpasset fordeling til hver kovariat. Siden den tross alt er informativ, er det mulig å foreta Bayesiansk modellsammenligning. Dette gjøres via Bayesiansk modell-likelihood (BML), som angir så hvor sannsynlig data er for hver modell. Man kan se på dette som prediksjonsstyrken til første datapunkt gitt førkunnskap ganger prediksjonsstyrken til andre datapunkt gitt første samt førkunnskap etc. Fordelen med en slik metode er at den har avveining mellom tilpasningsgrad og modellkompleksitet, siden økt kompleksitet gir økende tilpasning med lavere prediksjonsstyrke enn en enklere modell med tilnærmet samme tilpasningsgrad. Bayesiansk analyse tillater en måte å søke etter modeller på som ikke er mulig for andre kriterier, siden man her kan anse selve modellvalget som en Bayesiansk estimering også. Man kan da benytte seg av den numeriske metoden MCMC-sampling (en numerisk metode for å trekke fra en Bayesiansk fordeling) på selve modellrommet, siden hver modell kan håndteres analytisk. MCMC vil da hoppe mellom sannsynlige modeller (dette er et begrep som kun gir mening i Bayesiansk sammenheng). Selv om den som oftest beveger seg fra en mindre til en mer sannsynlig modell kan den gjøre det motsatte og dermed finne andre regioner i modellmulighets-rommet som en ren stegvis søken etter modeller den ikke er i stand til å finne.

Søken etter modeller kan foretas på ulike måter for de fleste av disse modellvalgs-kriteriene (men merk at lasso-regresjon gjør dette automatisk). Man kan gå stegvis opp fra den enklest mulige modellen (step-wise up, se a)) til kriteriet man bruker tilsier at man skal stoppe. Stegvis ned er som sagt utelukket i vårt tilfelle. Et alternativ er å systematisk gå gjennom alle mulige modeller (dette går ikke an for alternativ a), men med alle transformerte feltparameterne vi opererer med er dette også utelukket. Et annet alternativ er å starte i et lite sett tilfeldige plasser i modell-rommet og stegvis gå opp og ned fra hvert av disse startpunktene, som her vil bli kalt hagleskudd-metoden. For Bayesiansk analyse har man som nevnt også en tredje søkemetode.

Vi benyttet ikke oss av hypotese-testing, siden denne ikke tillot ikke-nøstet sammenligning. De andre kriteriene ble alle testet.

3.2.4 Valg av modellvalgs-kriterie

Ulike modellvalgskriterer kan gi ulike resultater, altså regresjonsligninger med ulike sett av kovariater og ulike transformasjoner av disse. Det finnes ikke noen fasit på hvilket kriterie som er best. Heldigvis var vi i den situasjon at vi hadde satt til sides et valideringssett på 14 datapunkter (stasjoner). For hver av kriteriene og eventuelt også for hver av modelltypene (lineær regresjon eller GAM) kunne man foreta et modellsøk og sjekke den antatt beste modellen mot valideringssettet og oppsummere hvor godt modellen predikerte.

3.3 Frekvenskurver

Hensikten med analysen var å finne en såkalt vekstkurve, en funksjonssammenheng mellom middelflom og for eksempel 10-års-flom, 100-års-flom og 1000-års-flom. Altså en funksjon $Q(Q_M,T)$ som gir returverdi for gitt middelflom, Q_M, og returperiode, T. Eventuelt ønsker man forholdet mellom returverdi og middelflom, $Q(Q_M,T)/Q_M$, som vi her vil kalle vekstkurve. Det er ikke gitt på forhånd at dette forholdet ikke vil være avhengig av Q_M.

3.3.1 Valg av fordeling

Før man kan lage en regional ekstremverdi-modell, må man først bestemme seg for en fordelingsfamilie som skal kunne benyttes for alle stasjoner (145 stykk) og for umålte felt. Det var også en viss interesse for å finne ut hvor rimelig det er å anta en fordelingsfamilie fremfor å for hver stasjon bestemme seg for én fordelingsfamilie ut ifra lokal analyse, som ofte blir gjort i praktiske anvendelser. Vi hadde dermed et modellvalg bestående av en fordelingsfamilie for alle stasjoner (M0) vs separat valg av fordelingsfamilie (M1). M0 bestod av 16 submodeller. En for hver av fordelingsfamiliene det ble sett på. For M1 kunne de samme 16 fordelingfamiliene velges separat for hver stasjon. Hver fordelingsfamilie ble gitt lik a' priori sannsynlighet (1/16) i begge modellene. De undersøkte fordelingsfamilien var: normal-, log-normal-, gamma-, Gumbel-, GEV-, Weibull-, Pareto-, log-Gumbel-, log-GEV-, logistisk, generalisert

logistisk, log-logistisk, Student-t-, log-Student-t-, Pearson type 3- og log-Pearson type 3-fordelingen.

Hvis fordelinger skal sammenlignes, er det svært lønnsomt å sette førkunnskapen på kvantiler (10-års- 100-års- og 1000-års-flom), i stedet for på de ulike fordelingenes parametere. Men i denne anvendelsen er bare én fordeling i spill og denne har en del felles parametere og en del rene stasjonsmessige parametere. Det blir dermed ikke klart hva det vil si å sette en fordeling på kvantilene her. Regresjonsparametere trenger klart en informativ prior-fordeling, så dette ble gjort for alle parameterne. Generelized Logistic-fordelingen viste seg å være den beste og resultatene blir presentert i kapittel 4.

Generelized logistic-fordelingen

Denne fordelingen er blitt lagd på grunnlag av en forholdsvis enkel form for kvantilfunksjon:

$$q(p) = \mu + \sigma/k \left\{1 - \left(\frac{1-p}{p}\right)^k\right\} \tag{1}$$

der p er underskridningsannsynligheten. Dette gir den ikke like enkle tetthetsfunksjonen:

$$f(x) = \frac{\left(1-\frac{k(x-\mu)}{\sigma}\right)^{\frac{1}{k}-1}}{\left(1+\left(1-\frac{k(x-\mu)}{\sigma}\right)^{\frac{1}{k}}\right)^2} \tag{2}$$

Fordelingsfamilien har tre parametere, μ, σ og k. Her er μ en lokasjonsparameter (forandrer man den forskyver man fordelingen uten at den forandrer form eller skala), som er tett forbundet med forventningen. Øker man μ med et tall øker man også forventningen med det samme tallet (altså lineær sammenheng med stigningsgrad 1). Parameteren σ er en såkalt skalaparameter, som betyr at hvis man forandrer denne strekkes eller innskrenkes fordelingen, uten å forandre lokasjon eller form. Til sist er parameteren k en formparameter. Hvis k er positiv, har utfallene en øvre grense, $\mu+\sigma/k$. Hvis k er negativ har de en nedre grense, også lik $\mu+\sigma/k$. Hvis $k=0$ får man den logistiske fordelingen som spesialtilfelle, som tillater utfall over hele den reelle tallinjen. Det er forholdsvis bra at fordelingen har tre parametere, siden to-parameter-fordelinger sjeldent har en formparameter og det er i bunn og grunn denne som bestemmer forholdet mellom de ulike returverdiene.

3.3.2 Regresjonsanalyse for vekstkurven

Kovariatene ble skalert slik at det kunne antas at variasjoner i parameterverdiene var på størrelsesorden 1 for vårt datasett. Siden generalized-likelihood-parameterne også kunne antas å variere over samme spenn (unntatt for Q_M som blir håndtert separat med en lognormalfordeling med 95 % troverdighetsintervall fra 0,0001 til 10000 for å ikke la

førkunnskapen styre alt for mye), ble førkunnskapen for hver regresjonsparameter satt i samme størrelsesorden, β~N(0,5). De globale parameterne α_0 og κ_0 ble også gitt den samme prior-fordelingen.

Standardavvikene til de individuelle støyleddene (σ_κ og σ_α) ble gitt en lognormalfordeling med 95% troverdighet fra 0,03 til 1. Vil de bli mindre enn det, må derfor deres indikator-variable settes i ”av”-posisjon for «reversible jumps light»-analysen.

3.3.2.1 Reparameterisering

I tidligere analyser, har vi allerede funnet en sammenheng mellom middelflom og feltparametere:

$$Qm(MIDTILSIG, EFF_SJO) = 19.68\, MIDTILSIG^{0.886} e^{-0.289\sqrt{EFF_SJO}} * \epsilon \qquad (3)$$

der *MIDTILSIG* er middeltilsig i perioden 1961-1990(m^3/s), *EFF_SJO* er effektiv sjøprosent (0-100%) og ε er et lognormalfordelt feilledd med 95% av sannsynligheten mellom */ 2. Etter å ha korrigert for vannføringskurveusikkerhet ble dette redusert til */ 1,8.

Det var dermed et poeng å ikke kreve ny analyse av middelvannføring i ekstremverdianalysen, men sette denne av som en egen parameter. Generalized Logistic-fordelingen har forventning

$$E(x)=Q_M=\mu+\sigma/k(1-\Gamma(1+k)\Gamma(1-k))$$

Selv om forventningen kan tillates å være negativ for Generalized Logistic-fordelingen, kan man her kreve at den skal være positiv for vannføringer.

I regional analyse er det ofte vanlig å la skalaparameteren være proporsjonal med middelflommen. Det var ikke ønskelig å tvinge dette til å være sant for alle stasjoner, men her kan det uansett reparameteriseres slik at avvikene er i forhold til dette. Altså settes $\sigma=\mu*e^\alpha$ der α er en ny parameter som erstatter σ. Motivasjonen for å multiplisere med e^α er å lage lineære modeller for α uten å ende opp med negative skalaparametere for enkelte stasjoner.

Med det nye parametersettet Q_M, α og k, kan man få tilbake det opprinnelige ved å bruke de formelen $\sigma=\mu*e^\alpha$ og deretter $\mu=Q_M-\sigma/k(1-\Gamma(1+k)\Gamma(1-k))$.

3.3.2.2 Modellvarianter og modellvalg

I utgangspunktet har man 3*145=435 parametere å forholde seg til når man skal tilpasse en generalized Logistic-fordeling til 145 stasjoner. Men poenget er å finne noe som er felles, og behandle avvikene fra dette som støy. Middelflommene er allerede beskrevet, men det er ikke ønskelig å bomme med */1,77 ved å benytte regresjonsformelene når man har data tilgjengelig. Følgelig ble parameteren, Q_M, satt til å være rent stasjonsmessig (tilpasset lokale data), men da uten å finne noen fellesfaktor, siden en slik beskrivelse

allerede finnes. De to andre parameterne modelleres som en grunnverdi pluss regresjonsledd pluss støy. Altså, for stasjon i og kovariater $\underline{x}_i=(x_{i,1},\ldots,x_{i,17})$ fås

$$\alpha(\underline{x}_i) = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{17} \beta_{\alpha,j} x_{i,j} + \sigma_\alpha \varepsilon_{\alpha,i}$$

der $\varepsilon_{\alpha,i}$ er et standard-normalfordelt støyledd som beskriver avviket fra regresjonsformelen for akkurat denne stasjonen. Tilsvarende modell for $\kappa(\underline{x}_i)$.

Med stasjonsmessige støyledd pluss kovariater både for $\kappa(\underline{x}_i)$ og $\alpha(\underline{x}_i)$ blir modellen veldig komplisert. Utfordringen var å finne den sub-modellen som fungerer best.

3.3.2.3 Analyse av hver modell

Modellene som betraktes er hierarkiske og ikke normalfordelte. Estimering av parametere kan ikke foretas med analytisk matematikk, så man må ty til numeriske metoder i stedet. For Bayesiansk analyse betyr det i praksis MCMC (Markov chain Monte Carlo). I tillegg er Bayesiansk modell-likelihood (BML) av interesse for modellsammenligning, se nedenfor. Importance Sampling ble brukt som numerisk metode for å estimere BML, som for fordelingsvalg-analysen.

3.3.2.4 Modellvalg

Modellvalgskriterie

Akkurat som for søket etter middelflom-formel, valgte vi Bayesiansk modell-likelihood (BML) som modellselsksjonskriterie. Det betyr at det er modellenes prediksjonskraft som bestemmer om en modell blir foretrukket fremfor en annen.

Søkemetode: Stepwise up

Med 2^36≈68 milliarder modeller (34 regresjonskoeffisienter pluss σ_α og σ_k) , er en systematisk gjennomgang av alle mulige modeller med MCMC-metodikk utelukket. En søkemetode må derfor benyttes.

Søkemetoden «stepwise up» går ut på å starte med en så enkel modell som mulig (som i vårt tilfelle vil være en modell med samme skala- og form-parameter for alle felt) og legge på nye elementer til dette ikke lønner seg lenger, i vårt tilfelle bestemt ut ifra BML. Legger man til elementer av ulik karakter, slik som nye kovariater vs støyledd, kan det lønne seg å gå både oppover og nedover i modellkompleksitet etter hvert. Eksempelvis kan det tenkes at man har etter å ha lagt til stasjonsmessige støyledd for $\alpha(\underline{x}_i)$ kan finne regresjonsledd for $\kappa(\underline{x}_i)$ å ikke lenger være av betydning.

Stepwise down ble ikke forsøkt, siden den fulle modellen var veldig komplisert og fordi man kan forvente å fjerne veldig mange ledd før man endte opp med en modell som ikke lenger kunne forbedres.

Søkemetode: ”reversible jumps light”

Modellen ovenfor kan beskrives som en ”monstermodell”. Det er 435 parametere for de stasjonsmessige parametrene, her fordelt over Q_{Mi}, $\varepsilon_{\alpha,i}$ og $\varepsilon_{k,i}$. I tillegg kommer 2*17=34 regresjonsparametre pluss de 4 globale parameterne $\alpha_0, \kappa_0, \sigma_\alpha$ og σ_k. Totalt altså 473 parametere.

Paradoksalt nok er det mulig å forenkle modellen ved å innføre enda flere parametere. For hver parameter som kan tenkes å fjernes angis en førkunnskap-fordeling. Hvis denne gjøres veldig smal, vil i praksis parameteren assosiert med den settes lik null. Hvis man innfører indikatorvariable, som representerer modellvalget ”fri parameter” vs ”parameter=0”, kan man så sette en vid nok prior når indikatoren er satt ”på” og en smal prior når indikatoren er satt ”av”.

I praksis krever disse rutinene at alle parameterne er flyttall, men om en lar indikatorvariablene være et tall mellom 0 og 1, med fortolkningen ”av” når variabelen er nærmest null og ”på” når variabelen er nærmest en, vil de fungere som de skal. Siden de er avgrenset, vil det ikke være slik at de beveger seg så langt i en retning i en MCMC-kjøring at de aldri kommer seg tilbake igjen.

Det er de globale parameterne σ_α og σ_k samt alle 34 regresjonsvariable som får denne behandlingen. Totalt var det altså 507 parametere, men der noen av ”parameterne” er der for å gjøre andre irrelevante. For eksempel hvis indikatoren for σ_k er i ”av”-posisjon, er formparameteren κ en ren regresjonsligning og de 145 individuelle formparameter-feilleddene $\varepsilon_{\kappa,i}$ er irrelevante. Hvis det skulle vise seg at alle indikatorvariable er i ”av”-posisjoner, sitter man igjen med kun de 145 individuelle middelflommene samt en skala- og en form-parameter. Siden vekstkurver er definert ut ifra middelflom, vil det i så tilfelle finnes en enkel vekstkurve spesifisert med to parametere for alle stasjoner.

Skulle feilleddene for κ være signifikante, vil det i utgangspunktet være en formparameter for hver stasjon. Men disse vil være uttrykt som en variasjon rundt en middelverdi, med et spesifisert standardavvik. Det vil dermed fremdeles være mulig å lage en global vekstkurve, men usikkerheten vil da ha innslag fra stasjonsmessige avvik så vel som parameterusikkerhet.

Søkemetode: Pragmatiske søk

Problemet med stepwise up/down er at man kan stoppe opp for tidlig, mens problemet med reversible jumps light er at metoden krever veldig mye computer-ressurser og ikke er garantert å konvergere i løpet av den tiden vi hadde til rådighet. Det var litt variasjon i utfallene av kjøringene, men det så ut til at «reversible jumps light»-kjøringene gav modeller med bedre BML enn den beste modellen fra en stepwise up-kjøring. Det ble derfor besluttet å kjøre stepwise up/down med utfallene fra «reversible jumps light» som utgangspunkt. Ei heller dette er garantert til å gi beste mulig modell, men kan være i stand til å søke ut modeller som ikke ble funnet via stepwise up fra enkleste modell og som grunnet numerisk unøyaktighet ikke ble utpekt som beste modell av «reversible jumps light».

4 Resultater

4.1 Resultat – Flomfrekvensanalyser

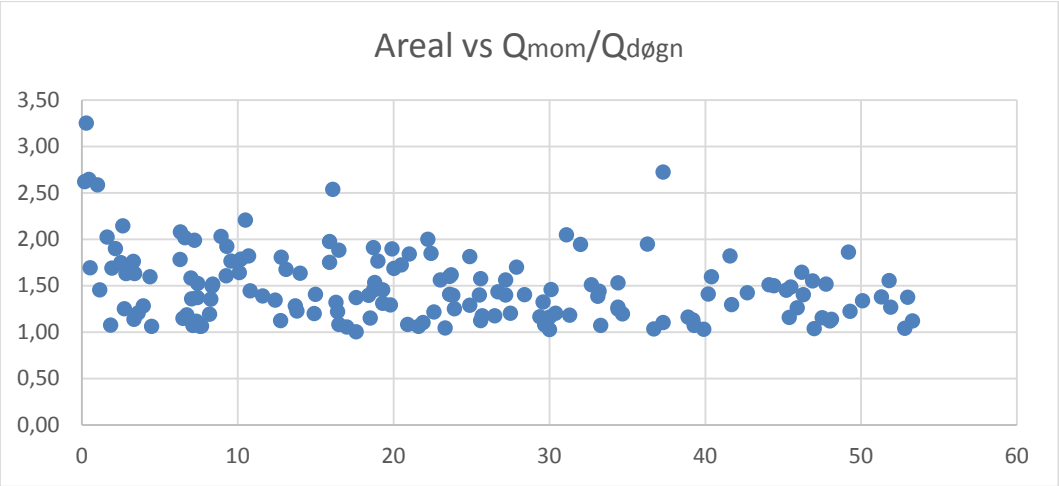
Flomfrekvensanalyser ble foretatt for 165 målestasjoner både på døgn- og kulminasjonsverdier. Fordelingene som ble undersøkt er beskrevet i kapittel 3.1. Resultatene fra analysene er gitt i Vedlegg 1, tabell 5. Tabellen viser antall år som var med i analysen, samt middelflom (Q_M) og forholdstallet mellom Q_M og høyere gjentaksintervaller. I tillegg er forholdstallet mellom døgn- og kulminasjonsvannføring og valgt fordelingsfunksjon gitt. Tabell 3 oppsummerer variasjonen i resultatene for de 165 stasjonene.

Tabell 3. Viser oppsummering middelflom og forholdstall (Q_T/Q_M) for de 165 stasjonene.

	Middelflom (Q_M)			Forholdstall QT/Qm (kulm)							
	l/s*km2										
	Kulm.	Døgn	Kulm/Døgn	Q5/Qm	Q10/Qm	Q20/Qm	Q50/Qm	Q100/ Qm	Q200/ Qm	Q500/ Qm	Q1000/ Qm
Minimum	89	74	1,002	1,10	1,17	1,23	1,28	1,32	1,35	1,37	1,39
Snitt	834	538	1,49	1,26	1,46	1,65	1,89	2,07	2,24	2,47	2,65
Maksimum	2704	1426	3,25	1,52	1,95	2,58	3,74	4,87	6,30	8,75	11,18

For de 165 stasjonene varierer spesifikk middelflom mellom 89-2704 l/s*km^2. Stasjon 18.12 Skardavatn er den med lavest spesifikk middelflom og også stasjonen med det laveste forholdstallet, $Q_{mom}/Q_{døgn,}$ på 1,002. Stasjonen, som nå er nedlagt, har et nedbørfelt på 17,6 km^2 og lå ved utløpet av Skarvatn i Risør kommune i Aust-Agder. Årsaken til det lave forholdstallet mellom kulminasjon og døgn er hovedsakelig at det er en enorm dempning i feltet gjennom Skarvatn. Nedbørfeltet har en effektiv sjøprosent på 15,69 %. På den andre siden av skalaen var det stasjon 42.6 Baklihøl som hadde høyest spesifikk middelflom på 2704 l/s*km^2. Baklihøl ligger sør for Folgefonna i Etne kommune i Hordaland og har et nedbørfelt på 19,9 km^2. Årsaken til det svært høye spesifikke middelflommen er en kombinasjon av at det er et bratt felt med liten dempning (lav effektiv sjøprosent og høy andel snaufjell), samtidig som det ligger i et svært nedbørrikt område.

Det var også interessant å se om det var forskjell i forholdet $Q_{mom}/Q_{døgn}$ for de små og litt større nedbørfeltene. Figur 3 viser plot av areal vs $Q_{mom}/Q_{døgn}$ for de 165 stasjonene.



Figur 3. Viser nedbørfelt (x-aksen, km^2) plottet mot forholdstallet $Q_{mom}/Q_{døgn}$ (y-aksen, -).

Figur 3 viser tydelig at det er stor variasjon i forholdet mellom kulminasjonsflom og døgnmiddelflom for alle feltstørrelser. Figuren viser også at det er mindre variasjon i forholdstallet for de større feltene enn for de minste. Av de 5 nedbørfelt med høyest forholdstall, $Q_{mom}/Q_{døgn}$, har fire av de nedbørfelt som er mindre enn 1 km^2. Det må imidlertid påpekes at flere av de små nedbørfeltene også hadde forholdstall ned mot 1,1.

4.2 Resultat – Formel for estimat av middelflom

4.2.1 Middelflom vs log-middelflom som respons

Første analyse gikk ut på å sjekke om middelflom burde log-transformeres eller ikke. Det bør bemerkes at korreksjoner etter hvert ble foretatt på datasettet etter hvert som feil ble oppdaget. De estimater og usikkerheter som blir rapportert i de første fire sub-seksjonene refererer seg til datasettet slik det var før disse korreksjonene.

AIC ble brukt som sammenligningskriterie her. (Siden modellkompleksiteten er lik, betyr det lite om AIC eller BIC brukes). Likelihood måtte uttrykkes på originalskala, om responsen ble log-transformert i analysen eller ikke, for å gjøre sammenligningen gyldig. Dette ble først gjennomført med areal som eneste kovariat, siden denne feltparameteren ble ansett som svært viktig. Resultatet angav at log-transformasjon var svært foretrukket.

Deretter ble en stepwise-up-algoritme implementert med AIC som modellvalgs-kriterie. GAM ble brukt i stedet for lineær regresjon for å ha mest mulig generalitet i kovariat-transformasjonene. Dette ble foretatt både med og uten log-transformasjon av responsen. Den resulterende modellen med analyse på log-transformert middelflom var igjen svært mye bedre enn den resulterende modellen med analyse på originalskala. Siden dette var et svært forventet resultat, ble dette ansett som tilstrekkelig til å gå videre med log-transformert respons i de videre analysene, i stedet for å kjøre et parallelløp.

4.2.2 Søkemetode; stepwise-up vs stepwise-down

Før ulike kovariat-transformasjoner ble undersøkt, var stepwise-down en mulig søkemetode. For å sjekke robustheten til stepwise-up ble resultatet sjekket opp mot stepwise-down for settet av utransformerte feltparametere med AIC som søkekriterie.

Resulterende modell ble ikke den samme for de to søkemetodene, noe som antydet at det var en fare for at stegvise søk kunne «sette seg fast» i sub-optimale modeller.

4.2.3 Transformeringer av felt-parametere

For å sjekke om en videre analyse på transformerte variabler var nødvendig, ble et stepwise-up-søk med AIC foretatt med GAM-analyse også. Den resulterende GAM-modellen hadde klart bedre AIC enn den antatt beste lineære modellen (fra stepwise-up) på utransformerte feltparametere.

For å være helt sikker på dette, ble valideringssettet benyttet til å se på prediksjonsusikkerheten til de to modellene. Avviket mellom GAM-modell og middelflommer i valideringssettet var på rundt 0.42 på log-skala, noe som antyder et 95% usikkerhetsbånd på estimat */ 2.28 på originalskala. For lineærmodellen var standardavviket 0.724 som antydet */ 4.13. Den antatt beste GAM-modellen var altså klart bedre enn den antatt beste lineære modellen på utransformerte feltparametere, også ifølge valideringssettet. Dette betød at hvis lineærregresjon skulle benyttes, måtte det benyttes på en del transformerte versjoner av feltparameterne.

4.2.4 Klassiske kriterier

Når transformerte feltparametere og interaksjon med breindikator ble forsøkt, var det fremdeles slik at den resulterende modellen fra stepwise-up AIC var svært komplisert og gav dårlig resultater på valideringen. Det ble derfor besluttet å undersøke andre kriterier som kunne være mer gjerrige på bruken av feltparametere. BIC ble forsøkt med stepwise-up-søk men gav nesten like kompliserte modeller som AIC og nesten like dårlige prediksjoner på valideringssettet. Hagleskudd-metoden for modellsøk gav bedre modeller ifølge BIC-kriteriet enn det som kom ut fra stepwise-up, noe som klart antydet at stepwise-up var for lite robust i dette tilfellet. Den beste modellen var fremdeles overraskende kompleks, hadde et standardavvik på log-skala på 0.38 for valideringssettet som angav en usikkerhet på */2.10 på originalskala, men etter korreksjoner har denne modellen droppet ned til en usikkerhet på */2.34.

Kryssvalidering som modellvalgs-kriterie så ut til å gi enda mer kompliserte modeller enn BIC, selv etter modellsøk med hagleskudd-metoden. Beste modell hadde antydningsvis en usikkerhet på */2.52 ifølge valideringssettet, noe som var klart dårligere enn BIC.

4.2.5 Forbedringer av datasettet

Datasettet inneholdt en del merkelige ting, som f.eks. stasjoner med middeltilsig estimert til å være eksakt null, noe som hindret log-transformasjon av denne feltparameteren. Etter å ha sett igjennom og korrigert en del slike instanser ble en ny analyse foretatt. AIC så fremdeles ut til å gi for kompliserte modeller, men et stepwise-up-søk med BIC gav nå en svært enkel modell som bare innbefattet middeltilsig (log-transformert) samt effektiv sjøprosent i en kombinasjon av utransformert og kubikkrot-transformert form. Modellen gjorde det bra i valideringstest, med en usikkerhet på */2.17. Et tilsvarende søk på GAM-

modeller gav nå en resulterende usikkerhet på */2.04, noe som antydet at det fremdeles var et forbedringspotensiale tilstede.

4.2.6 Lasso-metoden

Lasso-regresjon ble testet for å se om denne estimerings-/modellvalgs-metoden kunne fungere bedre enn de foregående. Straffeleddets størrelse ble estimert med kryssvalidering. Når den resulterende modellens prediksjoner ble sammenlignet med valideringssettet, viste det seg at dette var tilfellet, med en usikkerhet på */2.02. Modellen var litt komplisert, med 9 kovariater, men en del av disse kan antas å være svært reduserte regresjonskoeffisienter i forhold til en vanlig lineær-regresjon. Dette var altså det beste resultatet så langt, i hvert fall blant lineære modeller.

4.2.7 Bayesianske lineære modeller med MCMC-søk

Siden lasso-metoden er såpass lik Bayesiansk metodikk, var det grunn til å tro at en Bayesiansk analyse kunne være verdt å se på også. Fordelen her var at MCMC som søkemetode i modellrommet kunne være kraftigere enn de stegvise søkene som så langt var blitt brukt. Det viste seg at søket endte med en svært enkel modell som kun innbefattet middeltilsig (log-transformert akkurat som responsen) og kvadratroten av effektivt sjøprosent:

$$Qm(MIDTILSIG, EFF_SJO) = 20.26\ MIDTILSIG^{0.891} e^{-0.290\sqrt{EFF_{SJO}}+0.371\delta}$$

der δ er normalfordelt støy. Standardavviket mellom prediksjon og målt middelflom i valideringssettet var på 0.343 på log-skala, for det datasettet vi da hadde, noe som gav en usikkerhet på originalskala på */1.96, det klart beste valideringsresultatet vi hadde sett i noen kombinasjon av søkemetode, søkekriterie og estimeringsmetode. Det ble derfor avgjort at dette ville bli vår modellvalgs-, søke- og estimerings-metode når eventuelle nye data, nye kovariater eller mulige interaksjoner skulle analyseres.

Når man inkluderte valideringsdata, fikk man estimatet:

$$Qm(MIDTILSIG, EFF_SJO) = 19.87\ MIDTILSIG^{0.886} e^{-0.289\sqrt{EFF_{SJO}}+0.367\delta}$$

4.2.8 Nye data

Et nytt datasett med originalt rundt 50 stasjoner men etter en visse undersøkelse redusert ned til 36, ble nå introdusert og gradvis feilsøkt. En ny MCMC-analyse av originalt datasett pluss dette ekstra datasettet gav samme modell med bare litt endrede regresjonskoeffisienter. Estimert usikkerhet ble litt større når de nye stasjonene ble tatt med i estimeringen av regresjonsparametre, slik at valideringen nå endte opp med å antyde en usikkerhet på */2.00.

Om valideringssettet også ble inkludert i modellsøket, ble for øvrig resultatet fremdeles den samme modellen, nå estimert til å være:

$$Qm(MIDTILSIG, EFF_SJO) = 18.97\ MIDTILSIG^{0.864} e^{-0.251\sqrt{EFF_{SJO}}+0.368\delta}$$

Dette antyder at modellen er svært robust. Det multiplikative støyleddet $e^{0.368\delta}$ antyder et 95% troverdighetsintervall på */2.06 for middelflom-estimatet.

Ble interaksjoner tatt med som mulighet, ble en interaksjon mellom breindikator (tersklet breprosent) og middeltilsig introdusert som resultat av MCMC-analysen, men den gamle modellen ble fremdeles ansett som nesten like sannsynlig som den nye. Den nye modellen gjorde det litt dårligere på validering, så vi gikk ikke videre med denne.

4.2.9 Romlig korrelasjon

Det kunne hende at avvikene mellom måling og estimert middelflom hadde romlig korrelasjon. Dette kunne komme av regionale likheter i sammenhengen mellom feltparametere og middelflom eller tilstedeværelsen av en romlig korrelert kovariat som ikke hadde blitt tatt med i modellen, en umålt feltparameter eller regionale værmønstre og jordsmonn-typer.

Vi undersøkte et par enkle romlige modeller, med eksponentielt avtagende korrelasjon, Matern-korrelasjon eller kombinasjon av to eksponentielt avtagende funksjoner. Effektiv avstand ble enten definert isotropisk eller antatt være ulik i øst-vest- og nord-syd-retning med en proporsjonalitetskonstant mellom retningene som ekstra parameter (anisotropisk). Dette tillot sterkere korrelasjon i en retning enn den andre. Korrelasjonsmodellene kunne også varieres i om de hadde lokal støy eller ikke («nugget» i romlig korrelasjonsanalyse-språket).

En romlig korrelert modell vil være noe mer komplisert, men kan brukes til å redusere prediksjonsusikkerheten. Det ville derfor være fordelaktig hvis dette ble funnet.

I starten så det ut som om det kunne være en enkel anisotropisk romlig korrelasjon tilstede, med mer korrelasjon nord-syd enn øst-vest. Men etter å ha rettet en del feil og det ekstra datasettet ble introdusert, forsvant effekten. Det var derfor ingenting å hente på å benytte seg av romlig korrelasjon i prediksjonene av middelflom.

4.2.10 Vannføringskurve- og samplings-usikkerhet

Målt middelflom er ikke det samme som faktisk middelflom (forventningsverdien til årsmaskima for vannføring gitt konstante forhold). Det finnes flere feilkilder. Slike feilkilder gjør at når vår regresjonssammenheng bommer på målt middelflom kan det komme av to ting, nemlig avviket mellom regresjonssammenheng og virkelighet og avviket mellom målinger og virkelighet. Av de feilkilder for avvik mellom måling og virkelighet som kunne identifiseres, var det rimelig å anta at disse avvikene var rent lokale og derfor antas være mye mindre for snittet enn for hver enkelt. Hvis vi kunne finne hvor mye disse avvikene bidro til totalt avvik mellom regresjonsammenheng og målinger, kunne man dermed separere ut (i snitt) de avvikene som skyldes avvik mellom virkelighet og regresjonssammenheng. Siden hensikten med analysen var å predikere faktisk middelflom, ikke middelflommen slik vi ville (feil-)måle dem hvis vi hadde en stasjon der, var det viktig å foreta en slik analyse.

De antatt viktigste feilkildene er vannføringskurve- og samplings-usikkerhet. Middelflom er avledet fra vannføringstidsserier som igjen er avledet fra vannstandstidsserier og en

vannføringskurve, det vil si en estimert sammenheng mellom vannstand og vannføring. Siden estimert vannføringskurve vil bomme på faktisk vannstand-vannførings-sammenheng (men forhåpentligvis ikke på en systematisk måte), vil det være en viss usikkerhet om faktisk vannføring for enhver vannstand. For høye vannstander vil denne usikkerheten typisk være spesielt stor. NVE benytter nå en kurvetilpasningsmetode utviklet på universitetet i Oslo som kan estimere vannføringskurve-usikkerheten for en gitt vannstand. Programmet heter VFKURVE3 og ble benyttet til å estimere kurveusikkerhet på estimert middelflom-vannstand. Dette ble forsøkt gjort for alle 149 stasjoner i datasettet (original+nye+valideringssett), men en del stasjoner måtte kuttes ut fordi vannføringskurve ikke kunne estimeres (få eller ingen vannstand-vannførings-målinger eller kaotisk periodestruktur).

En annen feilkilde er at et snitt ikke er lik forventningsverdien (som kan beskrives som langtidssnittet). Desto færre målinger man har, desto større vil variasjonen i snittverdien være, som vi kaller sampling-usikkerhet. Man kan estimere standardavviket til snittet (standardfeilen) med standardavviket til enkeltmålingene (i dette tilfelle årlige vannføringsmaksima) delt på roten av antall målinger (antall år i datasettet til stasjonen).

Med estimat for variansbidraget til begge disse feilkildene tabulert for hver stasjon der dette kunne angis, kunne man separere ut denne variansen fra totalvariansen og estimere variansen skyldende avviket mellom faktisk middelflom og regresjonformel. Resultatet var at disse feilkildene bidrog med ca. 40% av variansen, som reduserte usikkerheten på originalskala ned fra */2.06 til */1.75.

4.2.11 Parameterusikkerhet

I tillegg til at det vil være avvik mellom modell og virkelighet vil det også være avvik mellom modell med optimale regresjonskoeffisienter og de regresjonskoeffisientene vi faktisk har estimert, altså parameter-usikkerhet. Disse vil legge på litt usikkerhet i estimatene våre. Med Bayesiansk metodikk er det enkelt å hente ut virkningen av parameterusikkerheten ved å hente ut MCMC-samplene for parameterne og dermed finne variansen i estimatene for hver stasjon. Resultatet ble at usikkerheten på originalskala økte til */1.77. Parameterusikkerhet spilte dermed liten rolle for total prediksjonsusikkerhet.

4.2.12 Validering

Formelverket for estimering av middelflom ble testet på 64 nedbørfelt hvor målestasjonene i utgangspunktet ble ekskludert fra analysen grunnet enten få år med data eller mistanke om dårlige/svært usikre data. Det ble imidlertid betraktet som en ok løsning for å undersøke middelflommen i mangel av gode data å sammenligne med. De fleste av disse stasjonene har tidsserier som er kortere enn 10 år. Av de 64 stasjonene var det 9 (14 %) som falt utenfor */2,06 av estimert Q_M. Det er et høyere antall enn det som er forventet (5 %), men ettersom det her er snakk om forholdsvis få stasjoner og tidsserier som er så korte at middelflomestimatet også må anses som svært usikkert, er det kanskje ikke overraskende. Dog kan dette også gjelde stasjonene som falt innenfor 95 % konfidensintervallet. Det skal også nevnes at de fleste av de 9 stasjonene som faller utenfor 95 % konfidensintervallet ligger rett utenfor.

4.3 Resultat – Frekvenskurver

Resultatet var for det første at en fordelingsfamilie for hele datasettet (M0) viste seg å være foretrukket. For det andre var den generaliserte logistiske fordelingen best blant de 16 fordelingsfamiliene som inngikk i analysen. Så man på antall stasjoner der ulike fordelinger ble foretrukket i modell M1 (som altså ble forkastet), var det generalisert logistisk som ble foretrukket for 127 av 145 stasjoner, mens Weibull ble foretrukket 8 ganger, log-normal 4 ganger og gamma 3 ganger. Forandret man førkunnskap til den med de videste troverdighetsintervallene ble resultatet det samme. For den smaleste prioren ble M1 foretrukket (separat fordelingsfamilie-valg) og log-logistisk fordeling fikk 53 stasjoner mens generalisert logistisk fordeling fikk 50 stasjoner. Den smaleste prioren ble ansett som såpass urealistisk at dette resultatet ikke gav noen grunn til å velge en annen fordeling enn den generalisert logistiske.

Som antydet i seksjonen om søkemetoder gav «Reversible jumps light» bedre modeller enn det vi fikk fra en ren stepwise-up-gjennomgang. Likevel, stegvise søk fra det som var de mest besøkte modellene i et par ferdigkjørte «reversible jumps light»-kjøringer samt fra de modellene som var besøkt i slutten av avbrutte kjøringer, gav forbedringer i forhold til disse også. En håndfull modeller som pekte seg ut til slutt hadde det til felles at de hadde individuell stasjonsmessig støy på skala-parameter men ikke form-parameter. De varierte i om kovariaten 'AVR6190' (gjennomsnittlig avrenning 1961-1990 i l/s/km^2) eller 'GRAD_FELT' skulle brukes i regresjonsformelen for skala-parameteren og om kovariatene 'EFF_SJO' (%) eller 'ELVE_LEN' (km) skulle brukes for formparameteren. De to beste modellene brukte 'AVR_6190' som kovariat for skala-parameter og henholdsivs 'EFF_SJO' (nestbeste; M1) og 'ELVE_LEN' (beste; M2) som kovariat for form-parameteren. Settes parameter-estimatene inn i ligning (1), ser modellene slik ut:

M1:

$$Q(T)/Q_m = 1 + 0.308 AVR_6190^{-0.137}\left[\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}\right]e^{0.161\varepsilon}/k \text{ der}$$
$$k = -1 + 2/\left[1 + e^{0.391+1.54 EFF_SJO/100}\right]$$
(4)

M2:

$$Q(T)/Q_m = 1 + 0.298 AVR_6190^{-0.128}\left[\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}\right]e^{0.169\varepsilon}/k \text{ der}$$
$$k = -1 + 2/\left[1 + e^{0.290+1.53 ELVE_LEN/100}\right]$$
(5)

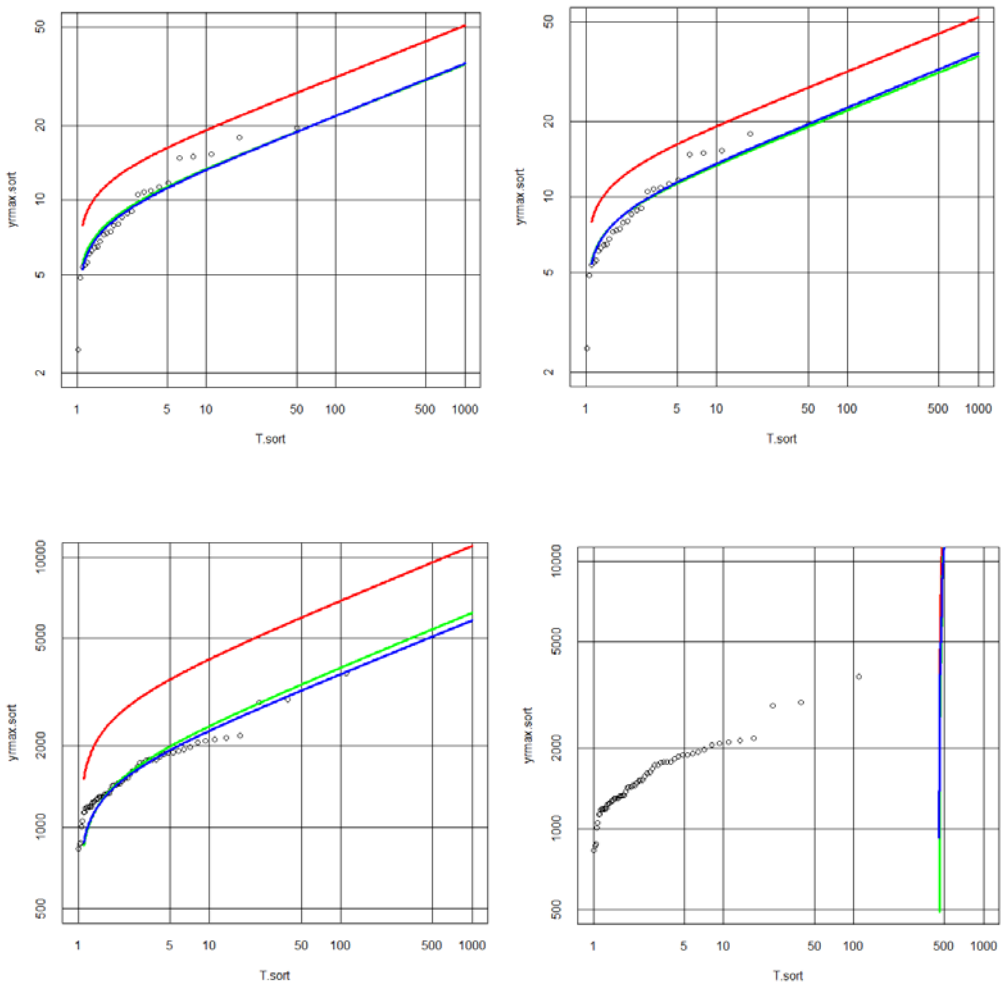
For områder uten målinger, setter man Q_M ut ifra formel (3) der man setter de stasjonsmessige støyleddene δ og ε lik null for å få et median-estimat. For områder med noen årsmaksima-data, kan man benytte seg av disse formlene og tillegge standard-normalfordeling på δ og ε som a' priori-kunnskap og oppdatere de med data. Dette vil så

gi et oppdatert middelflom- og vekstkurve-estimat. En pragmatisk løsning som ser ut til å være nesten like god (se figur 4) er å bare midle årsmaksima for å estimere Q_M og så bruke median-estimat for skala-parameter.

Grunnen til at vi valgte å fokusere på to modeller i stedet for en var for det første at forskjellen i estimert BML var såpass liten at vi ikke kunne forkaste at den var lik for de to modellene etter tre kjøringer hver (t-test). Modell 2 var den som i snitt fikk best BML, men forskjellen var såpass liten og variasjonen i analysene såpass stor at det ikke var sikkert den var best. I tillegg, mens modell M2 fungerte bra for datasettet, der vi satte ELVE_LEN=0 for de to stasjonene som ikke hadde spesifisert elvelengde, var det klart at feltstørrelsen var støyete og at elvelengde kanskje ikke i alle tilfeller ville være tilgjengelig. I tillegg viste det seg at modell M2 i svært liten grad var ekstrapolerbar.

Mangelen på ekstrapolerbarhet i modell 2 kan ses fra (5). Elvelengde inngår ikke lineært her, men gjør at formparameteren går eksponensielt mot -1 med lineært økende elvelengde. En verdi på «-1» er ekstrem fordi dette er grensetilfellet mellom at den generelle logistiske fordelingen tillater eller ikke tillater at den har en middelflom.

Mangelen på ekstrapolerbarhet kan også ses fra figur 4. Her er vekstkurve plottet mot data for to stasjoner, Farstadelva (107.3.0) og Nor (2.2.0) i Glomma. Farstadelva er en liten elv på nordvestlandet med feltareal på 24km^2, så den havner innenfor bruksområdet til analysen. Stasjonen ble ikke brukt grunnet dårlig datamateriale skyldende vannføringskurven. Som man ser i figur 4 a) og b) gir begge modellene god tilpasning til data hvis man tilpasser middelflommen lokalt. Det blir et lite avvik når man kun bruker regressert middelflom og vekstkurve, men dette ser altså ut til kun å være forårsaket av usikkerhet i middelflom-regresjonen. Hvorvidt man foretar lokal tilpasning bare ved å midle årsmaksima eller ved å foreta en Bayesiansk tilpasning av de stasjonsmessige støyleddene δ og ε, (grønn og blå linje) ser ut til å bety lite i dette tilfellet. Nor er en nedlagt stasjon i Glomma-vassdraget med et massivt feltareal på 18932km^2 og 62 år med døgndata. For et så stort vassdrag vil forskjellen mellom kulminasjonsflom og døgnmiddelflom være liten. Modell 1 ser ut til å fungere nesten like bra her som den gjorde for det lille Farstadelva-vassdraget. Den eneste merkbare bommen ligger i middelflommen, som tross alt har en usikkerhet på */2 når man tar med vannføringskurve-usikkerhet. Det er også verdt å merke seg at lokalt tilpasset støyledd gir en liten forandring i tilpasning i forhold til når bare Q_M estimeres for seg selv. Men vekstkurven i modell 2 fungerer svært dårlig her. Form-parameteren er såpass ekstrem at middelflom≈*Q500*. For mindre gjentaksintervall får man urealistisk små verdier mens for høyere gjentaksintervall får man urealistisk høye verdier.



Figur 4: Data mot modellert vekstkurve, rød=uten lokal datatilpasning, blå=middelflom beregnet ved å midle lokale årsmaksima, grønn=lokalt tilpasset δ og ε som gir lokalt tilpasset middelflom og skala-parameter. a) Øverst til venstre: Farstadelva, M2. b) Øverst til høyre: Farstadelva, M1. c) Nederst til venstre: Stasjon Nor, M1. d) Nederst til høyre: Stasjon Nor, M2.

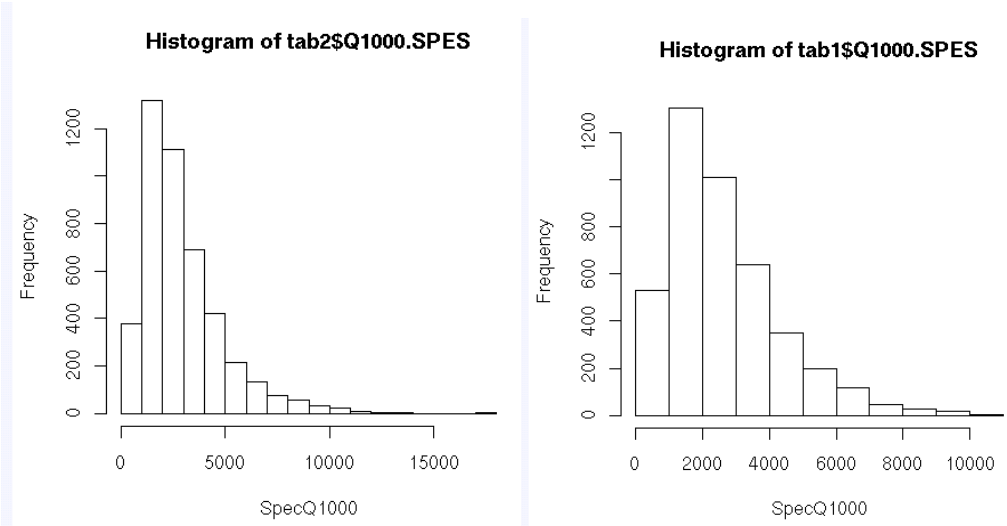
4.3.1 Utfallsrom og modellsammenligning

For å få et inntrykk av utfallsrommet til formelverket, ble de to modellene testet på 4459 nedbørfelt (beliggenhet vist i figur 5) hentet ut fra NVEs database NVE Atlas.

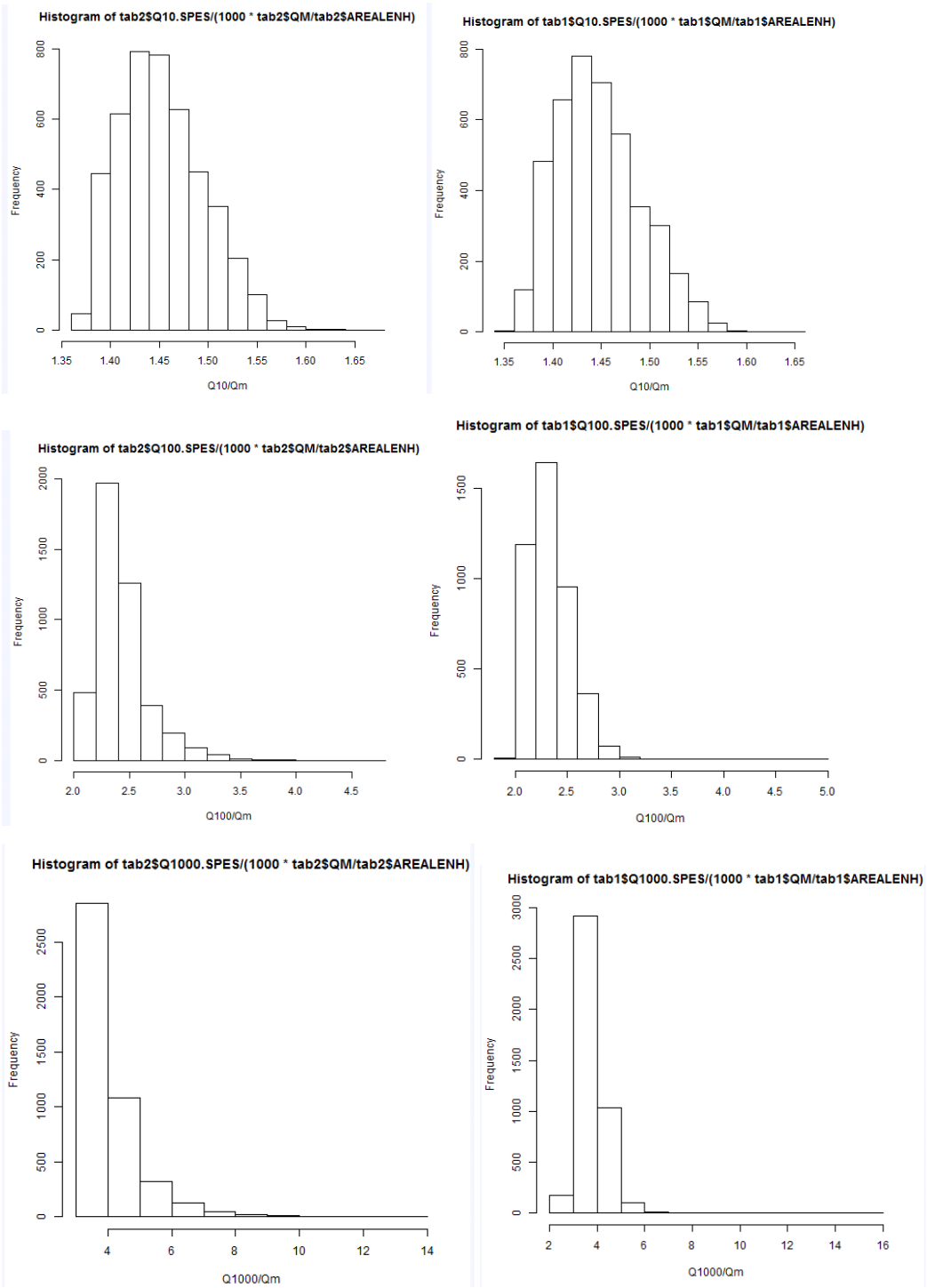
Figur 6 viser utfallsrommet for Q1000 for de 4459 feltene estimert ved bruk av de to modellene. Histogrammene viser at begge modellene legger hovedtyngden av tusenårsflommene mellom 1000-4000 l/s*km^2. Videre ser en at begge modellene har flere tilfeller av flommer opp mot 10000 l/s*km^2. Modell 1 har i tillegg noen få felt hvor tusenårsflommen estimeres til over 10000 l/s*km^2.

Videre var det interessant å se fordelingen av forholdstall mellom QM og flommer med høyere gjentaksintervall. Resultatene for Q10, Q100 og Q1000 er presentert i figur 7.

Figur 5. Viser de 4459 nedbørfelt (farget grått) som de to modellene ble testet på.



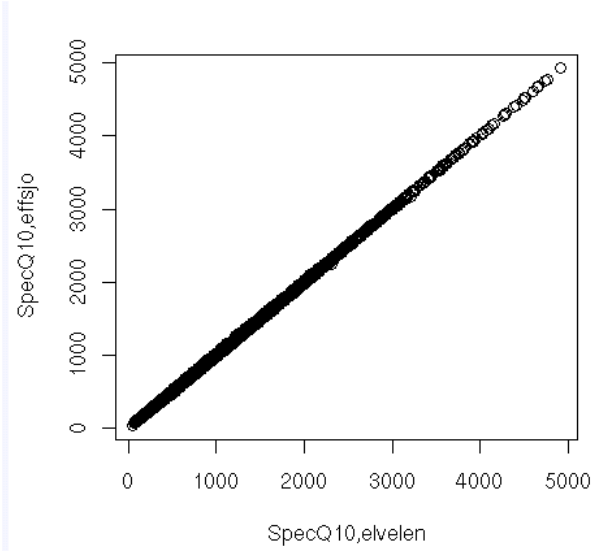
Figur 6. Viser spesifikk Q1000 (l/s*km^2) estimert med modell 1 (oppe venstre) og modell 2 (oppe høyre).

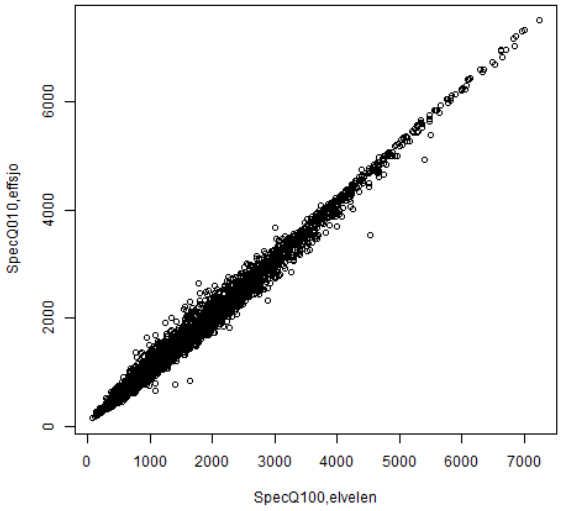


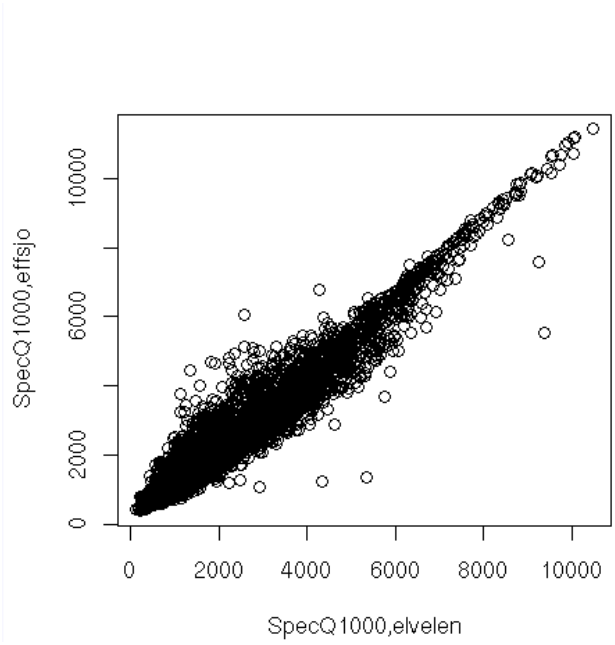
Figur 7. Viser forholdstallet mellom Q_M og flommer med lengre returperioder. Histogrammene til venstre viser resultatene for modell 1 og de til høyre viser for modell 2.

Histogrammene i figur 7 viser en forholdsvis lignende fordeling av forholdstallene for $Q10/Q_M$ og $Q100/Q_M$, men at modell 1 har en noe tyngre hale for $Q1000/Q_M$. For $Q10/Q_M$ ser vi at forholdstallet varierer mellom 1.35 og 1.65 for modell 1 og mellom 1.35 og 1.60 for modell 2. For $Q100/Q_M$ varierer forholdstallet for modell 1 mellom 2 og 4, og mellom 2 og 3.3 for modell 2. For forholdstallet mellom tusenårsflom og middelflom ($Q1000/Q_M$) er det større sprik mellom de to modellene. For modell 1 varierer forholdstallet mellom 3 og 10, mens det for modell 2 varierer mellom 2 og 7.

Videre er det interessant å se hvordan de to modellene estimerer flommer med samme gjentaksintervall for samme nedbørfelt. Dette illustreres enklest ved å plotte de to mot hverandre. Figur 8 viser resultatene for Q10, Q100 og Q1000.







Figur 8. Plot av resultat fra modell 1 og modell 2 mot hverandre for forskjellige gjentaksintervall.

Fra plottene i figur 8 ser man at de to modellene gir nærmest identiske resultater for Q10. Også for Q100 er det forholdsvis stor enighet mellom de to modellene selv om det finnes unntak. Det er først når en ser på resultatene for Q1000 at de to modellene virkelig spriker, og det er uenighet mellom de to for hele spekteret av flomverdier. Dog syntes uenigheten å være størst mellom spesifikke verdier på 2000-6000 l/s*km^2.

Erfaringsmessig er det knyttet usikkerhet til estimering av «elvelengden» som inngår i formelverket for modell 2. I tillegg er denne størrelsen ikke ekstrapolerbar, og selv om det ble vist at de to modellene ikke var enige for de virkelig store gjentaksintervallene, ble det bestemt å velge modell 1 som den mest anvendelige.

Når modellvalget var foretatt ble så modell 1 testet på 64 valideringsfelt hvor estimatene fra formelverket ble sammenlignet med middelflom og høyeste målte vannføring. Sammenligningen av middelflom er beskrevet i kapittel 4.2.12. 17 av de 64 valideringsfeltene hadde mer enn 10 år med data, og det var interessant å se hva slags gjentaksintervall høyeste registrerte vannføring ville få ved bruk av det regionale formelverket. Igjen påpekes det at de data som inngår i analysen her er svært usikre. Tabell 4 viser resultatene.

Tabell 4. Viser gjentaksintervallet for høyeste registrerte vannføring estimert ved bruk av det regionale formelverket.

Stasjonsnr.	St. navn	Areal	Data (ant år)	QM data	QM reg	Høyeste målte	Gj. Intervall
26.21	Sandvatn	27,5	43	15,95	20,17	28	10
107.3	Farstadelva v/ Farstad	24,23	30	9,38	13,22	19,8	10
64.6	Solrenningsvatn	53,37	23	51,6	45,45	105	100
186.1	Åelv	47,09	21	12,6	15,12	27	20
16.109	Veisvikvatn	14,51	17	3,35	3,67	6,5	20
50.10	Isdøla	56,62	17	22,97	31,03	32	3
4.1	Trolldalen	1,95	16	0,53	0,88	1,1	5
15.55	Økta	49,4	16	10,63	9,72	21	50
73.14	Valdresdøla	16,42	15	6,17	8,34	9,5	4
171.3	Vasja	39,44	14	16,32	19,61	25,3	7
2.299	Sulheim	45,5	13	15,66	23,90	27,7	4
109.28	Grynna	27,38	13	7,83	16,41	11,5	< QM
171.2	Fordalsvatn	43,82	13	17,07	17,32	23	8
18.12	Skardavatn	17,71	12	1,58	1,96	2,7	8
174.8	Sildvikvatn	19,02	12	8,22	7,43	11,98	15
220.1	Hamnevatn	53,58	12	50,01	24,18	81	500
30.6	Norddal	32,69	11	25	28,11	52	47

Det er utfordrende å si noe om hvor passende de estimerte gjentaksintervallene egentlig er på bakgrunn av det begrensede datagrunnlaget. En ting som i alle fall synes innlysende er at det er der det er stor forskjell på middelflom fra data og fra formelverk en observerer de tilsynelatende minst passende gjentaksintervallene. Et eksempel på dette er 220.1 Hamnevatn hvor estimert middelflom er mindre enn halvparten av det som beregnes fra data. Følgelig blir gjentaksintervallet for høyeste observerte vannføring meget høyt (500 år). Tilsvarende, men motsatt, ser en at for 109.28 Grynna hvor estimert middelflom er over det dobbelte av det som beregnes fra data, blir gjentaksintervallet for høyeste vannføring mindre enn 2 år.

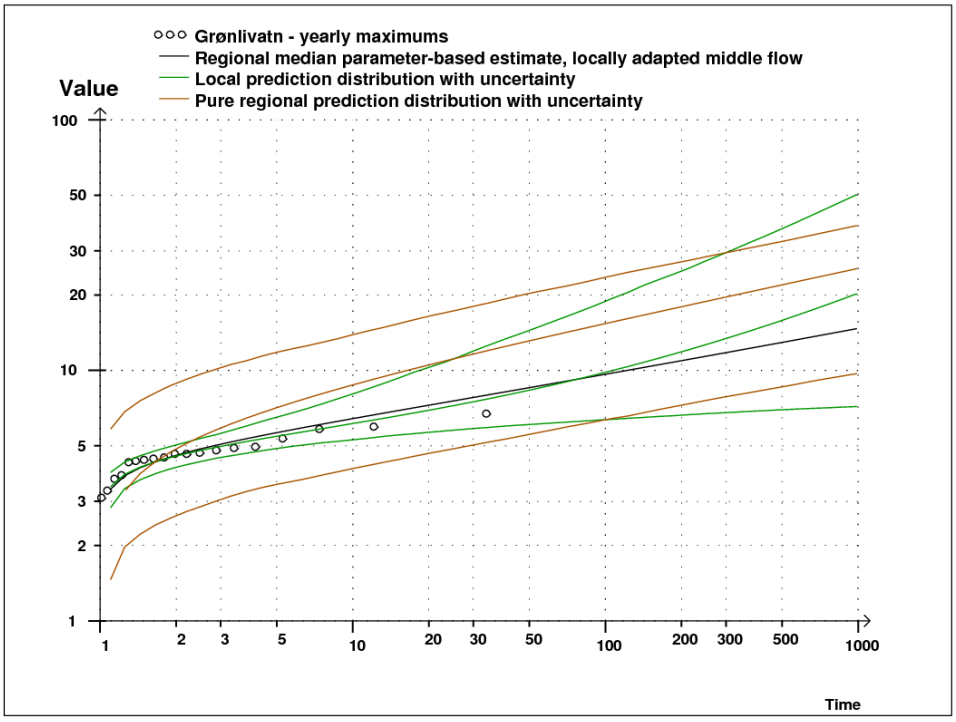
4.3.2 Usikkerhet

Det er flere kilder til usikkerhet i bruken av dette formelverket til å forutse returverdien for en gitt returperiode. Parameterne er ikke 100% sikre. 95% troverdighetsintervall for topp-parameterne er $\alpha_0 \in (-1.59,-1.04)$, $\kappa_0 \in (-0.327,-0.242)$, $\sigma_\alpha \in (0.04, 1.04)$, $\beta_{\kappa,ELVE_LEN} \in (-1.71,-1.33)$, $\beta_{\alpha,AVR_6190} \in (-0.17,-0.033)$. Stasjonsmessige støyledd i skala-parameter betyr at det ble funnet subtile forskjeller i vekstkurvene ved forskjellige stasjoner, og dette får konsekvenser for usikkerheten på umålte felt. Likevel, den klart at den største usikkerhetskilden kommer fra middelflom-regresjonen. Dette kan ses i figur 9, som viser data for stasjon Grønlivatn (180.1.0) sammen med median-estimat (svart kurve) og 95% usikkerhetsbånd (brune linjer) som kommer fra full analyse med parameterusikkerhet. For lave gjentaksintervall er i praksis middelflommen den eneste usikkerhetskilden, men fra plottet kan ses at sikkerheten blir ikke vesentlig større for store gjentaksintervall heller. Dette er altså fordi middelflom-usikkerheten dominerer over de andre usikkerhetskildene. For lave gjentaksintervall (T=3) har man en variasjon på 3.3 mellom øvre og nedre usikkerhetsbånd (*/1.8) mens for høye gjentaksintervall (T=1000) er variasjonen på 3.89 (*/2.0). Dette så ut til å være et trekk som alle stasjonene delte.

I figur 9 er det verdt å merke seg at lokal dataanalyse gir mindre usikkerhet for lave gjentaksintervall, men større usikkerhet for store (T>200 år i dette tilfellet). Dette ser ut til å være en gjennomgående trend for stasjonene. Man kommer altså lengre med en ren regional formel (uten bruk av lokale data) enn ved å bruke data for de store gjentaksintervallene. Situasjonen må forventes å være enda mer fordelaktig når lokale data benyttes til å videreforedle middelflom og skala-parameter (lokal+regional analyse).

Skal man sammenligne formelverk med vannføringsdata fra usikker vannføringskurve, må man også legge til dette. Videreføres erfaringen fra middelflom-beregningen vil da usikkerheten være ca. */2.0 for lav gjentaksintervall og */2.2 for høye.

For lokal+regional analyse må man nesten foreta en skikkelig analyse av usikkerheten. Når middelflommen blir mindre usikker, begynner andre usikkerhetskilder som usikkerhet i støyleddet forbundet med skala-parameter, samt usikkerhet i parametrene selv å få betydning. Enn så lenge det er lite data (få årsmaksimaler), kan vil likevel middelflom-usikkerheten være den største usikkerhets-kilden, og man kan, hvis man er pragmatisk, benytte seg av t-testens 95% konfidensgrenser for årsmaksimalene som en tilnærming til et 95% troverdighetsintervall for Q_M.



Figur 9. Data (sorte sirkler), median-estimat (sort linje), 95% troverdighetsintervall pluss snitt-estimat (brune linjer) og estimat+95% troverdighetsbånd for lokal analyse (grønne linjer), for stasjon Grønlivatn.

5 Oppsummering

Det er i denne rapporten beskrevet utarbeidelsen av et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og flommer med høyere gjentaksintervall for små umålte nedbørfelt i Norge. Regresjonsanalysene ble utført på et datasett bestående av vannføringsserier og feltkarakteristika for 149 nedbørfelt. Analysene ga et formelverk hvor middelflommen, Q_M, estimeres ved to kovariater. Disse to er middeltilsiget (middelvannføring i perioden 1961-90 i m^3/s) og effektiv sjøprosent. Formelen for middelflommen Q_M er som følger:

$$Qm(MIDTILSIG, EFF_SJO) = 18.97\ MIDTILSIG^{0.864} e^{-0.251\sqrt{EFFSJO}}$$

En usikkerhetsanalyse viste at 95 % troverdighetsintervall for rent regionalt estimat av Q_M var gitt ved */2,06 om en sammenligner med data (grunnet usikkerhet i vannføringskurven), og */ 1,77 ellers. Av de to kovariatene som inngår i formelverket er det middeltilsiget som er mest usikkert. Denne verdien blir hentet direkte ut av avrenningskartet som vi vet varierer i kvalitet fra lokasjon til lokasjon og det er viktig at det gjøres en vurdering av denne størrelsen før formelverket anvendes. Videre ble det etablert et formelverk som kunne estimere vekstkurven for små umålte nedbørfelt. Altså hvordan gå fra middelflom til en flom med et høyere gjentaksintervall. Det ble først undersøkt om det var rimelig å anta at samme fordelingsfamilie kunne beskrive vekstkurven for alle umålte felt, eller om det gir bedre resultater å bestemme stasjonsspesifikk fordelingsfamilie ut i fra lokal analyse som ofte blir gjort i praksis.

Resultatet var at én fordelingsfamilie var foretrukket og at det av de 16 fordelingsfamiliene som ble testet var den generaliserte logistiske fordelingen som var best. Resultatet fra analysene var en formel med 3 parametere hvor en av de er middelflommen som er beskrevet over. De to andre parameterne som inngår i formelen for vekstkurver er middelavrenningen (midlere årsavrenning i perioden 1961-90 i l/s*km^2) og effektiv sjøprosent. Formelen for beregning av forholdstallet mellom en flom, Q(T), med gjentaksintervall T og middelflom, $Q_{M,}$ er som følger:

$$Q(T)/Q_m = 1 + 0.308AVR_6190^{-0.137}\left[\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}\right]e^{0.161k}/k \text{ der}$$
$$k = -1 + 2/\left[1 + e^{0.391+1.54EFF_SJO/100}\right]$$

Det er helt klart at det er estimatet av middelflommen som gir opphav til den største usikkerheten i resultatene fra formelverket. Usikkerheten kan oppsummeres ved at den for små gjentaksintervaller er ca */2 og for store gjentaksintervaller er den på */2,2 med et 95 % konfidensintervall om en sammenligner med frekvensanalyser for en vannføringsstasjon og ca */ 1,8 for små og */ 2 for store gjentaksintervaller ellers. Om en har noen lokale data tilgjengelig for å bedre estimatet av middelflommen, vil usikkerhetsbåndet kunne bli enda smalere, men dette vil være individuelt og usikkerheten må bestemmes ved en ordentlig analyse.

Det ble også utført flomfrekvensanalyser for 165 vannføringsstasjoner hvor en hadde gode data. Analysene viste at det var større forskjell på kulminasjons- og døgnmiddelflom for de minste feltene enn for de større, men at forholdstallet varierer mye over hele spekteret av feltarealer.

Referanser

Etatsprogrammet ”NATURFARE – Infrastruktur, Flom og Skred” (NIFS). http://www.naturfare.no/

Leine, A-L. Ø., m. fl. Norges Hydrologiske stasjonsnett. NVE-Rapport 48-2013.

Stenius, S. (2013): Vannføringsstasjoner i Norge med felt mindre enn 50km^2. NVE Rapport 66-2013.

6 Vedlegg 1

6.1 Tabell med resultatene fra frekvensanalysene for hver enkelt stasjon

Tabell 5. Tabellen omfatter stasjonsnummer, stasjonsnavn, feltareal, antall analyserte år, middelflom for kulminasjon og døgn i avrenning (m^3/s)og spesifikk avrenning ($l/s*km^2$), samt forholdstall mellom middelflom og større gjentaksintervaller for kulminasjonsvannføringer. Valgt statistisk fordeling presenteres i siste kolonne. Stasjoner som har mindre enn 10 år med data er markert med fet skrift

	Areal		**Middelflom (Q_m)**					**Forholdstall $Q_T/Q_{m\ (kulm)}$**								
	km^2		m^3/s		$l/s*km^2$		Forholdstall (Q_m)									
Stasjon		Antall år	Kulm.	Døgn	Kulm.	Døgn	Kulm/Døgn	Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
110.2 Draget	0,19	26	0,21	0,08	1089	416	2,62	1,28	1,54	1,80	2,16	2,44	2,74	3,15	3,49	GEV(mom)
110.1 Karihola	0,29	24	0,34	0,10	1155	355	3,25	1,36	1,64	1,89	2,20	2,41	2,60	2,82	2,94	Gam(mom)
20.11 Tveitdalen	0,44	40	0,66	0,25	1491	564	2,65	1,32	1,55	1,76	2,02	2,21	2,39	2,61	2,77	GEV (max)
19.96 Storgama ovf.	0,52	36	0,43	0,25	817	483	1,69	1,25	1,41	1,56	1,73	1,85	1,95	2,07	2,14	Gamma (mom)
29.7 Gramstaddalen	1,00	21	1,20	0,46	1197	463	2,59	1,17	1,30	1,43	1,60	1,72	1,85	2,01	2,14	Gum(mom)
19.91 Åbogtjønn	1,15	16	0,62	0,42	536	368	1,46	1,25	1,37	1,47	1,56	1,62	1,66	1,71	1,74	GEV (max)
31.10 Venekvev	1,61	20	3,27	1,61	2028	1001	2,03	1,24	1,43	1,62	1,86	2,04	2,22	2,45	2,63	Gum(mom)
27.14 Saglandsvatn	1,85	19	0,40	0,38	218	203	1,08	1,19	1,30	1,41	1,53	1,60	1,68	1,75	1,80	Gamma (mom)
123.30 Øvre Hestsjøbekk	1,93	26	1,37	0,81	712	421	1,69	1,28	1,47	1,64	1,84	1,98	2,11	2,25	2,33	Gamma (mom)
18.11 Tjellingtjernbekken	2,16	30	1,83	0,96	849	446	1,90	1,33	1,61	1,87	2,23	2,50	2,77	3,13	3,41	GEV (max)
36.34 Prestvika	2,5	20	2,94	1,68	1176	673	1,75	1,24	1,44	1,63	1,87	2,06	2,24	2,48	2,66	Gum(mom)
19.89 Skornetten	2,62	25	2,32	1,08	886	413	2,14	1,17	1,28	1,38	1,48	1,56	1,62	1,69	1,73	Gamma (mom)
221.1 Magerøy	2,73	16	1,21	0,97	445	356	1,25	1,30	1,48	1,64	1,81	1,92	2,02	2,13	2,20	Gev(mom)
174.11 Taraldsvikelv	2,84	17	1,81	1,11	636	390	1,63	1,26	1,48	1,70	1,99	2,22	2,46	2,77	3,02	GEV
123.29 Svarttjørnbekken	3,04	42	1,91	1,16	628	383	1,64	1,29	1,47	1,63	1,80	1,92	2,02	2,14	2,22	GEV (mom)

Stasjon	Areal km^2	Antall år	Middelflom (Q_m) m^3/s Kulm.	Middelflom (Q_m) m^3/s Døgn	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Kulm.	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Døgn	Forholdstall (Q_m) Kulm/Døgn	Forholdstall $Q_T/Q_{m\,(kulm)}$ Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
55.5 Dyrdalsvatn	3,31	27	7,00	3,97	2115	1200	1,76	1,19	1,37	1,55	1,80	2,00	2,21	2,51	2,75	GEV (max)
39.1 Tysvær	3,34	37	0,72	0,64	216	190	1,14	1,20	1,32	1,43	1,56	1,64	1,72	1,80	1,85	Gam(mom)
3.11 Sagstubekken	3,39	21	1,31	0,80	386	237	1,63	1,35	1,62	1,85	2,14	2,34	2,53	2,73	2,85	Gam(mom)
3.33 Guthusbekken	**3,62**	**7**	**1,06**	**0,88**	**293**	**243**	**1,21**	**1,12**	**1,19**	**1,24**	**1,29**	**1,33**	**1,35**	**1,38**	**1,40**	**GEV (mom)**
211.3 Tredjevatn	3,95	15	3,92	3,05	993	773	1,28	1,39	1,69	1,97	2,30	2,54	2,76	3,00	3,13	Gam(mom)
85.3 Svartebotten	4,38	21	6,86	4,29	1566	980	1,60	1,18	1,31	1,42	1,56	1,66	1,74	1,84	1,89	Logn.
68.1 Kløvtveitvatn	4,47	34	2,48	2,33	554	521	1,06	1,18	1,28	1,35	1,44	1,49	1,54	1,59	1,62	Gauss
19.79 Gravå	6,31	34	2,56	1,44	406	228	1,78	1,30	1,54	1,77	2,07	2,29	2,51	2,81	3,03	Gumbel (mom)
8.6 Sæternbekken	6,33	34	3,50	1,68	552	266	2,08	1,43	1,78	2,11	2,55	2,87	3,20	3,63	3,95	Gumbel (mom)
16.66 Grosettjern	6,48	43	1,65	1,43	254	221	1,15	1,25	1,46	1,67	1,95	2,17	2,40	2,70	2,94	GEV (mom)
150.1 Sørra	6,6	44	6,25	3,10	947	469	2,02	1,33	1,59	1,85	2,18	2,42	2,67	2,99	3,24	Gum(mom)
11.4 Elgtjern	6,74	29	1,75	1,48	260	219	1,18	1,28	1,52	1,74	2,02	2,24	2,45	2,73	2,95	Gumbel (mom)
46.9 Fønnerdalsvatn	7,01	27	11,08	6,99	1580	997	1,58	1,34	1,61	1,88	2,22	2,47	2,73	3,07	3,32	Gum(mom)
6.10 Gryta	7,05	43	2,03	1,49	288	212	1,36	1,31	1,62	1,96	2,45	2,86	3,31	3,98	4,54	GEV (max)
81.1 Hersvikvatn	7,13	27	1,92	1,79	269	251	1,07	1,19	1,28	1,34	1,41	1,44	1,47	1,49	1,51	GEV (mom)
42.16 Fjellhaugen	7,22	15	15,45	7,76	2140	1075	1,99	1,18	1,33	1,48	1,66	1,80	1,94	2,12	2,26	Gum(mom)
160.6 Navnløsvatn	7,34	15	7,01	6,27	955	854	1,12	1,40	1,72	2,03	2,44	2,74	3,04	3,44	3,74	Gmb.(mom)
180.1 Grønlivatn	7,41	20	4,61	3,36	622	453	1,37	1,14	1,25	1,36	1,50	1,61	1,71	1,85	1,95	Gum(mom)
16.154 Brusetbekken	7,44	21	3,03	1,99	407	267	1,52	1,32	1,46	1,57	1,67	1,73	1,77	1,81	1,84	GEV (mom)
185.1 Gåslandsvatn2	7,6	32	2,44	2,30	321	303	1,06	1,24	1,40	1,54	1,72	1,83	1,94	2,08	2,17	Gev(mom)
39.2 Kallandsvatnet	**7,68**	**6**	**1,69**	**1,59**	**221**	**207**	**1,06**	**1,13**	**1,26**	**1,38**	**1,54**	**1,66**	**1,78**	**1,93**	**2,05**	**Gum(max)**
76.15 Bruvollelvi	8,2	15	5,01	4,19	611	511	1,19	1,18	1,29	1,39	1,50	1,57	1,64	1,72	1,77	Gev(mom)
86.23 Breelva	8,27	18	8,88	6,55	1070	790	1,35	1,24	1,41	1,55	1,72	1,83	1,93	2,05	2,11	Gam(mom)

Stasjon	Areal km^2	Antall år	Middelflom (Q_m) m^3/s Kulm.	Middelflom (Q_m) m^3/s Døgn	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Kulm.	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Døgn	Forholdstall (Q_m) Kulm/Døgn	Forholdstall $Q_T/Q_{m\,(kulm)}$ Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
123.28 Hokfossen	8,35	28	3,53	2,36	423	282	1,50	1,24	1,36	1,45	1,55	1,60	1,65	1,69	1,72	GEV (max)
80.4 Ullebøelv	8,39	26	15,80	9,16	1450	957	1,52	1,21	1,33	1,43	1,53	1,59	1,65	1,71	1,75	Gev(mom)
19.82 Rauåna	8,93	31	6,96	3,43	779	384	2,03	1,35	1,61	1,84	2,13	2,32	2,50	2,70	2,82	Gamma (mom)
46.7 Brakhaug	9,25	29	14,74	9,17	1593	991	1,61	1,13	1,24	1,36	1,52	1,65	1,78	1,96	2,10	Gev(mom)
122.23 Klett	9,56	12	6,11	3,46	639	362	1,76	1,24	1,39	1,53	1,69	1,80	1,90	2,01	2,07	Gam(mom)
26.64 Rekedalselv	10,1	13	11,09	6,76	1098	669	1,64	1,38	1,67	1,93	2,25	2,48	2,68	2,91	3,04	Gamma (mom)
84.19 Sygnesandselva	10,5	14	16,87	7,65	1607	728	2,21	1,29	1,45	1,57	1,71	1,80	1,88	1,96	2,01	Logn.
36.12 Fossåna	10,7	11	16,54	9,09	1545	849	1,82	1,21	1,34	1,45	1,57	1,64	1,71	1,79	1,84	Gev(mom)
48.2 Raundalsvatn	10,8	14	12,91	8,93	1196	827	1,45	1,27	1,49	1,70	1,97	2,17	2,37	2,64	2,84	Gum(mom)
12.212 Hangtjern	11,6	25	3,46	2,50	299	215	1,39	1,30	1,43	1,52	1,61	1,65	1,69	1,73	1,74	GEV (mom)
37.27 Breiborgvatn	12,4	15	11,98	8,91	966	718	1,34	1,21	1,38	1,54	1,75	1,91	2,07	2,28	2,43	Gum(mom)
170.5 Kaldvågvatn	12,76	12	6,49	5,77	508	452	1,12	1,52	1,92	2,29	2,73	3,04	3,34	3,71	3,97	Weib
63.12 Fjellanger	12,8	17	18,34	10,15	1433	793	1,81	1,24	1,43	1,62	1,87	2,05	2,24	2,48	2,67	Gev(mom)
2.590 Vikka	13,1	14	1,62	0,97	124	74	1,68	1,21	1,39	1,56	1,79	1,96	2,12	2,34	2,51	Gumbel (max)
104.22 M.Mardalsvatn	13,7	27	10,66	8,30	778	606	1,28	1,23	1,45	1,67	2,00	2,26	2,55	2,95	3,29	Gev(mom)
211.2 Andrevatn	13,8	15	9,02	7,35	654	533	1,23	1,20	1,33	1,44	1,56	1,64	1,71	1,79	1,84	GEV(mom)
19.80 Stigvassåi	14	39	9,75	5,96	696	426	1,64	1,37	1,67	1,97	2,37	2,67	2,98	3,39	3,71	GEV (mom)
211.1 Langfjordhamn	14,9	19	9,15	7,62	614	511	1,20	1,19	1,30	1,38	1,47	1,52	1,57	1,62	1,65	GEV(mom)
157.5 Silavatn	**15,0**	**6**	**28,11**	**19,99**	**1874**	**1333**	**1,41**	**1,34**	**1,52**	**1,67**	**1,83**	**1,94**	**2,04**	**2,16**	**2,24**	**Weibul(max)**
86.7 Bortne	15,9	15	38,61	19,56	2428	1230	1,97	1,27	1,45	1,61	1,80	1,94	2,05	2,18	2,26	Gam(mom)
70.7 Tistel	15,9	16	11,45	6,54	720	411	1,75	1,29	1,53	1,76	2,05	2,28	2,50	2,79	3,01	Gum(max lik)
61.8 Kaldåen	16,1	22	40,16	15,83	2495	983	2,54	1,35	1,71	2,08	2,60	3,04	3,50	4,18	4,75	GEV (mom)
157.3 Vassvatn	16,3	25	20,45	15,48	1254	950	1,32	1,31	1,53	1,72	1,96	2,12	2,27	2,43	2,52	Gam(mom)

Stasjon	Areal km²	Antall år	Middelflom (Q_m) m³/s Kulm.	m³/s Døgn	l/s*km² Kulm.	l/s*km² Døgn	Forholdstall (Q_m) Kulm/Døgn	Forholdstall $Q_T/Q_{m\ (kulm)}$ Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
73.14 Valdresdøla	**16,4**	**8**	**6,60**	**5,41**	**402**	**330**	**1,22**	**1,20**	**1,36**	**1,51**	**1,71**	**1,86**	**2,01**	**2,21**	**2,36**	**Gum(mom)**
114.1 Myra	16,5	22	21,00	11,15	1273	676	1,88	1,17	1,28	1,37	1,48	1,55	1,62	1,68	1,72	Gam(mom)
2.469 Skvaldra øvre	**16,5**	**7**	**15,02**	**13,87**	**910**	**841**	**1,08**	**1,35**	**1,64**	**1,92**	**2,27**	**2,54**	**2,81**	**3,16**	**3,43**	**Gumbel (mom)**
151.12 Østre fiskelausvatn	17	13	4,95	4,69	291	276	1,06	1,18	1,32	1,45	1,63	1,76	1,90	2,07	2,20	Gumbel (mom)
176.1 Myklebostad	17,6	13	14,45	10,53	821	599	1,37	1,24	1,42	1,59	1,80	1,95	2,09	2,25	2,34	Lognor.
18.12 Skardavatn	**17,6**	**6**	**1,57**	**1,56**	**89**	**89**	**1,00**	**1,21**	**1,34**	**1,46**	**1,59**	**1,69**	**1,78**	**1,90**	**1,98**	**Gamma (mom)**
161.6 Staupåga	18,4	16	10,96	7,84	596	426	1,40	1,19	1,34	1,48	1,67	1,81	1,95	2,13	2,27	Gmb.(mom)
178.1 Langvatn	18,5	33	10,25	8,91	554	482	1,15	1,19	1,35	1,50	1,69	1,84	1,99	2,18	2,32	Gum(mom)
37.8 Buer	**18,7**	**9**	**38,86**	**20,34**	**2078**	**1088**	**1,91**	**1,19**	**1,32**	**1,42**	**1,55**	**1,63**	**1,71**	**1,79**	**1,83**	**Gam(mom)**
19.78 Grytå	18,7	22	9,05	6,23	484	333	1,45	1,29	1,49	1,67	1,88	2,03	2,16	2,31	2,39	Gamma (mom)
172.7 Leirpoldvatn	18,8	29	27,37	17,84	1456	949	1,53	1,34	1,51	1,66	1,82	1,92	2,01	2,11	2,16	Gauss
21.47 Lislefjødd	19	30	15,72	8,91	827	469	1,76	1,44	1,81	2,15	2,57	2,87	3,14	3,45	3,62	Gamma (mom)
197.8 Ersfjord	19,3	14	15,91	10,94	824	567	1,45	1,27	1,49	1,70	1,97	2,18	2,38	2,65	2,85	Gum(mom)
230.1 Nordmannset	19,3	39	10,08	7,69	522	398	1,31	1,33	1,58	1,80	2,07	2,25	2,42	2,60	2,71	Gam(mom)
160.7 Skauvoll	19,8	16	18,02	13,93	910	703	1,29	1,19	1,34	1,48	1,67	1,82	1,96	2,14	2,28	Gum(mom)
42.6 Baklihøl	19,9	27	53,81	28,39	2704	1426	1,90	1,17	1,31	1,44	1,61	1,74	1,87	2,04	2,17	Gum(mom)
126.2 Engstad	20,03	19	15,52	9,21	775	460	1,68	1,31	1,45	1,56	1,67	1,73	1,78	1,83	1,86	GEV (mom)
36.32 Lauvastøl	20,5	18	27,58	16,01	1345	781	1,72	1,23	1,38	1,51	1,67	1,77	1,87	1,97	2,03	Gam(mom)
84.12 Ytste Langvatn	20,9	21	12,91	11,91	618	570	1,08	1,24	1,40	1,54	1,71	1,82	1,92	2,03	2,10	Gamma (mom)
68.2 Havelandselv	21	11	46,47	25,24	2213	1202	1,84	1,22	1,41	1,58	1,81	1,98	2,15	2,37	2,54	Gum(mom)
172.8 Rauvatn	21,6	17	9,33	8,78	432	407	1,06	1,30	1,50	1,69	1,91	2,06	2,20	2,35	2,44	Gam.(mom)
237.1 Båtsfjord	21,9	23	5,69	5,16	260	236	1,10	1,18	1,29	1,38	1,49	1,57	1,63	1,70	1,74	Gam(mom)
8.8 Blomsterkroken	22,2	27	9,2	6,1	413	275	2,00	1,26	1,56	1,88	2,36	2,78	3,25	3,98	4,61	GEV (mom)

Stasjon	Areal km^2	Antall år	Middelflom (Q_m) m^3/s Kulm.	Middelflom (Q_m) m^3/s Døgn	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Kulm.	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Døgn	Forholdstall (Q_m) Kulm/Døgn	Forholdstall $Q_T/Q_{m\,(kulm)}$ Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
159.5 Strømdalen	22,4	28	37,70	20,39	1683	910	1,85	1,23	1,38	1,51	1,66	1,76	1,86	1,96	2,02	Gam(mom)
35.9 Osali	22,6	22	21,17	17,40	937	770	1,22	1,18	1,31	1,42	1,56	1,65	1,74	1,83	1,89	Lognormal
2.10 Sogna	23	14	9,935	6,367	432	277	1,56	1,4	1,9	2,6	3,7	4,9	6,3	8,8	11,2	GEV (mom)
12.150 Buvatn	23,3	32	4,06	3,88	174	166	1,05	1,27	1,46	1,63	1,82	1,96	2,08	2,22	2,29	Gamma (mom)
109.35 Håkådalselv	23,6	19	18,83	13,38	798	567	1,41	1,39	1,71	2,01	2,40	2,70	2,99	3,38	3,67	Gum(mom)
99.17 Rødøla	23,6	13	14,84	9,27	629	393	1,60	1,32	1,58	1,84	2,16	2,40	2,65	2,97	3,21	Gum(mom)
86.12 Skjerdalselv	23,7	26	39,52	24,44	1668	1031	1,62	1,28	1,47	1,64	1,84	1,97	2,10	2,24	2,31	Gam(mom)
74.16 Langedalen	23,8	31	14,18	10,16	596	427	1,40	1,27	1,41	1,52	1,65	1,73	1,80	1,88	1,92	Gauss
165.6 Strandå	23,9	19	18,94	15,12	793	633	1,25	1,27	1,48	1,67	1,92	2,10	2,27	2,50	2,67	Gev(mom)
111.10 Nauståa	24,9	32	28,74	15,83	1154	636	1,82	1,29	1,65	2,06	2,70	3,29	3,97	5,05	6,03	GEV(ekstrem)
2.36 Øvre Heimdalsvatn	24,9	11	7,153	5,546	287	223	1,29	1,403	1,722	2,018	2,387	2,655	2,915	3,251	3,5	Gamma (mom)
41.7 Blomstølvatn	25,6	17	51,17	32,46	1999	1268	1,58	1,27	1,45	1,61	1,80	1,93	2,05	2,18	2,25	Gam(mom)
91.2 Dalsbøvatn	25,6	28	12,21	10,87	477	425	1,12	1,20	1,37	1,53	1,73	1,89	2,04	2,24	2,40	Gum(mom)
73.21 Frostdalen	25,7	21	13,97	11,88	544	462	1,18	1,38	1,68	1,97	2,33	2,60	2,87	3,22	3,48	Gev(mom)
51.3 Osseter	26,5	15	15,63	13,27	590	501	1,18	1,28	1,48	1,65	1,86	2,00	2,13	2,27	2,35	Gamma (mom)
168.3 Lakså bru	26,7	21	37,83	26,35	1417	987	1,44	1,50	1,90	2,28	2,78	3,16	3,53	4,02	4,39	Gum(mom)
2.592 Fokstua	27,2	19	8,77	5,61	323	206	1,56	1,26	1,52	1,78	2,15	2,45	2,77	3,22	3,59	GEV
41.8 Hellaugvatn	27,2	27	35,73	25,51	1314	938	1,40	1,27	1,44	1,58	1,75	1,85	1,95	2,06	2,13	Gev(mom)
26.21 Sandvatn	27,5	38	16,04	13,32	583	484	1,20	1,20	1,36	1,51	1,71	1,86	2,01	2,21	2,36	Gumbel (mom)
76.11 Vigdøla	27,9	22	22,36	13,14	801	471	1,70	1,22	1,39	1,56	1,78	1,94	2,11	2,32	2,48	Gum(max)
174.3 Øvstevatn	28,4	31	15,49	11,03	545	389	1,40	1,28	1,48	1,65	1,86	2,00	2,13	2,27	2,36	Gam(mom)
74.24 Nysetvatn	29,4	18	13,03	11,20	443	381	1,16	1,34	1,47	1,56	1,64	1,69	1,72	1,75	1,76	Gev(mom)
177.4 Sneisvatn	29,6	20	26,77	20,23	904	684	1,32	1,12	1,18	1,23	1,28	1,32	1,35	1,37	1,39	Gauss

Stasjon	Areal km²	Antall år	Middelflom (Q_m) m³/s Kulm.	Middelflom (Q_m) m³/s Døgn	Middelflom (Q_m) l/s*km² Kulm.	Middelflom (Q_m) l/s*km² Døgn	Forholdstall (Q_m) Kulm/Døgn	Forholdstall $Q_T/Q_{m\ (kulm)}$ Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
75.20 Åsetvatn	29,7	10	13,63	12,63	459	425	1,08	1,17	1,27	1,37	1,49	1,58	1,66	1,77	1,85	Logn
109.27 Råhamran	30,0	13	12,18	10,49	406	350	1,16	1,32	1,49	1,62	1,78	1,88	1,97	2,08	2,15	Weib.
234.4 Smalfjord	30	22	3,89	3,79	130	126	1,03	1,27	1,45	1,61	1,81	1,94	2,06	2,19	2,26	Gam(mom)
79.3 Nessedalselv	30,1	28	24,23	16,61	805	552	1,46	1,22	1,40	1,57	1,79	1,96	2,12	2,34	2,50	Gum(mom)
73.27 Sula	30,4	29	12,88	10,71	424	352	1,20	1,28	1,52	1,74	2,03	2,24	2,43	2,66	2,80	Logn.
26.26 Jogla	31,1	40	39,81	19,44	1280	625	2,05	1,23	1,46	1,70	2,03	2,30	2,59	3,00	3,34	GEV (max)
168.2 Mørsvik bru	31,3	26	18,78	15,86	600	507	1,18	1,30	1,54	1,78	2,08	2,30	2,53	2,83	3,05	Gum(mom)
42.2 Djupevad	32	41	65,70	33,78	2053	1056	1,94	1,18	1,36	1,55	1,83	2,06	2,32	2,69	3,01	Gev(mom)
30.6 Norddal	**32,70**	**7**	**30,8**	**20,4**	**943**	**624**	**1,51**	**1,33**	**1,60**	**1,85**	**2,19**	**2,44**	**2,68**	**3,01**	**3,26**	**Gum(mom)**
16.132 Gjuvå	33,1	24	12,05	8,70	364	263	1,38	1,26	1,40	1,52	1,63	1,70	1,76	1,83	1,87	GEV (mom)
157.4 Flostrand	33,2	21	56,00	38,84	1687	1170	1,44	1,22	1,39	1,56	1,78	1,94	2,10	2,32	2,48	Gum(mom)
16.108 Gjevarvatn	33,3	16	9,22	8,61	277	259	1,07	1,21	1,34	1,47	1,61	1,70	1,79	1,90	1,97	GEV (max)
88.15 Grasdøla	34,4	17	14,59	11,68	424	340	1,25	1,10	1,17	1,25	1,35	1,42	1,49	1,59	1,66	Gum(mom)
36.13 Grimsvatn	34,4	37	45,61	29,81	1326	867	1,53	1,19	1,32	1,43	1,58	1,67	1,77	1,87	1,92	Logn.
84.30 Lunde	34,4	13	31,69	24,99	921	726	1,27	1,31	1,47	1,61	1,75	1,85	1,93	2,02	2,07	gauss
16.189 Bjørntjønn	34,7	20	10,40	8,69	300	250	1,20	1,21	1,40	1,60	1,86	2,07	2,29	2,60	2,84	GEV (max)
15.72 Sørkja	**36,3**	**7**	**14,39**	**7,39**	**396**	**204**	**1,95**	**1,50**	**1,95**	**2,37**	**2,91**	**3,29**	**3,64**	**4,03**	**4,26**	**Gamma (mom)**
163.7 Kjemåvatn	36,7	43	10,67	10,31	291	281	1,03	1,21	1,32	1,41	1,51	1,57	1,63	1,68	1,72	Gauss
156.24 Bogvatn	37,3	22	22,83	20,67	612	554	1,10	1,18	1,27	1,35	1,43	1,48	1,53	1,58	1,60	Gauss
16.112 Byrteåi	37,3	25	81,86	31,16	2195	835	2,87	1,66	2,11	2,54	3,10	3,52	3,94	4,49	4,91	Gauss
2.1 Hådammen	38,9	14	9,17	7,89	236	203	1,16	1,19	1,33	1,46	1,62	1,74	1,85	2,00	2,10	GEV (mom)
19.107 Lilleelv	39,2	18	13,44	11,87	343	303	1,13	1,27	1,42	1,54	1,67	1,75	1,81	1,89	1,93	GEV (max)
117.4 Valen	39,3	30	11,35	10,60	289	270	1,07	1,29	1,52	1,75	2,04	2,26	2,47	2,76	2,98	Gum(mom)

Stasjon	Areal km^2	Antall år	Middelflom (Q_m) m^3/s Kulm.	Middelflom (Q_m) m^3/s Døgn	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Kulm.	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Døgn	Forholdstall (Q_m) Kulm/Døgn	Forholdstall $Q_T/Q_{m\,(kulm)}$ Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
101.1 Engsetvatn	39,9	21	11,03	10,71	277	268	1,03	1,27	1,48	1,69	1,96	2,16	2,36	2,63	2,83	Gum(mom)
96.3 Hareidselv	40,2	19	19,62	13,91	488	346	1,41	1,22	1,40	1,56	1,76	1,91	2,06	2,25	2,39	Gev(mom)
78.8 Bøyumselv	40,4	29	36,30	22,75	899	563	1,60	1,27	1,48	1,69	1,95	2,15	2,35	2,62	2,82	Gum(maks)
62.16 Kvitno	41,6	16	55,57	30,53	1336	734	1,82	1,25	1,45	1,65	1,90	2,09	2,27	2,52	2,71	Gum(mom)
62.14 Slondalsvatn	41,7	21	29,53	22,76	708	546	1,30	1,24	1,43	1,61	1,85	2,03	2,21	2,44	2,62	Gum(mom)
16.122 Grovåi	42,7	37	20,93	14,70	490	344	1,42	1,28	1,47	1,64	1,84	1,98	2,11	2,25	2,33	Gamma (mom)
156.27 Leiråga	44,1	35	50,90	33,68	1154	764	1,51	1,19	1,30	1,38	1,46	1,51	1,55	1,60	1,63	Gev(mom)
103.20 Morstøl bru	44,4	39	32,84	21,88	740	493	1,50	1,43	1,78	2,12	2,56	2,89	3,21	3,64	3,97	Gum(mom)
2.323 Fura	45,2	40	14,40	9,92	319	220	1,45	1,16	1,30	1,44	1,61	1,74	1,87	2,04	2,17	Gumbel (max)
35.16 Djupadalsvatn	45,4	22	32,95	28,43	726	626	1,16	1,28	1,50	1,72	2,00	2,21	2,42	2,69	2,90	Gum(mom)
2.299 Sulheim	45,5	12	16,41	11,03	361	242	1,49	1,29	1,52	1,74	2,03	2,25	2,47	2,75	2,97	Gumbel
234.14 Cærrogasjokka	45,9	15	9,61	7,61	209	166	1,26	1,41	1,75	2,07	2,48	2,79	3,10	3,51	3,82	Gum(mom)
75.23 Krokenelv	46,2	47	39,45	23,98	854	519	1,64	1,32	1,65	1,98	2,43	2,77	3,10	3,49	3,73	logn.
36.9 Middal	46,3	29	31,28	22,27	676	481	1,40	1,18	1,30	1,40	1,53	1,62	1,70	1,79	1,84	Logn.
25.8 Mygland	**46,9**	**8**	**36,00**	**23,20**	**768**	**495**	**1,55**	**1,21**	**1,30**	**1,36**	**1,41**	**1,44**	**1,46**	**1,48**	**1,50**	**GEV (mom)**
186.2 Ånesvatn	47	33	14,31	13,80	304	294	1,04	1,27	1,49	1,70	1,97	2,17	2,37	2,64	2,84	Gum(mom)
2.616 Kuggerud	47,5	34	6,79	5,88	143	124	1,16	1,22	1,47	1,75	2,16	2,52	2,93	3,55	4,09	GEV
124.15 Børstad	47,75	17	30,09	17,59	1450	957	1,52	1,40	1,72	2,03	2,44	2,74	3,04	3,43	3,73	Gum(mom)
75.28 Feigumfoss	48	37	17,56	15,68	366	327	1,12	1,12	1,20	1,26	1,33	1,38	1,42	1,46	1,49	Gam(mom)
153.1 Storvatn	48,1	40	46,47	40,88	966	850	1,14	1,24	1,39	1,52	1,66	1,76	1,85	1,96	2,03	Gev(mom)
25.32 Knabåni	49,2	16	57,51	30,88	1169	628	1,86	1,19	1,34	1,49	1,68	1,82	1,97	2,15	2,30	Gum(mom)
16.127 Viertjern	49,3	26	15,64	12,76	317	259	1,23	1,26	1,44	1,60	1,78	1,91	2,02	2,16	2,26	GEV (max)
55.4 Røykenes	50,1	31	63,60	47,49	1269	948	1,34	1,24	1,42	1,60	1,82	2,00	2,17	2,39	2,56	Gumbel (max)

Stasjon	Areal km^2	Antall år	Middelflom (Q_m) m^3/s Kulm.	Middelflom (Q_m) m^3/s Døgn	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Kulm.	Middelflom (Q_m) l/s*km^2 Døgn	Forholdstall (Q_m) Kulm/Døgn	Forholdstall $Q_T/Q_{m\ (kulm)}$ Q_5/Q_m	Q_{10}/Q_m	Q_{20}/Q_m	Q_{50}/Q_m	Q_{100}/Q_m	Q_{200}/Q_m	Q_{500}/Q_m	Q_{1000}/Q_m	Fordeling
48.4 Jordal	51,3	18	42,71	30,96	832	603	1,38	1,20	1,42	1,67	2,04	2,36	2,72	3,28	3,76	GEV (mom)
12.13 Rysna	51,8	33	22,76	14,62	439	282	1,56	1,32	1,55	1,76	2,01	2,18	2,33	2,51	2,61	Gam(mom)
12.193 Fiskum	51,9	32	13,80	10,86	266	209	1,27	1,33	1,61	1,87	2,21	2,46	2,71	3,04	3,30	Gumbel (mom)
2.288 Harasjøen	52,8	34	8,317	7,993	158	151	1,04	1,334	1,637	1,939	2,346	2,664	2,992	3,444	3,80	Lognormal
26.29 Refsvatn	53	34	44,23	32,14	834	606	1,38	1,22	1,36	1,48	1,63	1,73	1,81	1,91	1,96	Gamma (mom)
159.3 Engabrevatn	53,3	19	40,25	35,95	755	674	1,12	1,19	1,34	1,49	1,68	1,82	1,96	2,15	2,29	Gum(mom)

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no