

Til: Anders Breili
Fra: Norconsult AS v/ Steinar Myrabø
Dato 2018-07-09

Flomberegning for Åretta

Norconsult er bedt om å utarbeide en rapport med vurdering av flomfare, erosjon og sårbare punkt for Åretta på strekningen fra Røyslimoen til utløp i Mjøsa. Dette notatet presenterer flomberegninger for aktuelle lokaliteter.

Sammendrag

Det er utført beregning av 200-årsflom (Q_{200}) for nedbørfeltet til Åretta. Beregningene er foretatt i henhold til gjeldende veiledning for flomberegninger i små felt [2] og er basert på bruk av den Rasjonelle formel, PQRUT, NVEs analyseprogram NEVINA og Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt. Disse er sammenlignet med flomfrekvensanalyse av måledata fra Fura.

Resultatet ble som vist i tabellen nedenfor.

Nedbørfelt	A (km ²)	Q ₂₀₀ Rasj (m ³ /s)	Q ₂₀₀ PQRUT (m ³ /s)	Q ₂₀₀ Nasj (m ³ /s)	Q ₂₀₀ Fura (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ Ramb (m ³ /s)	Q _{200+Klf} (m ³ /s)
Åretta	15,6	27	26	20-39	23-28	26	(31 – 37)	37
Åretta RV	14,1	24	24	18-36		24	(25 – 30)	34
Åretta GRV	13,3	23	23	17-34		23	(22 – 26)	32

Resultatet tilsvarer en kulminasjonsverdi for flommen ved Q_{200} på 26 m³/s, 24 m³/s og 23 m³/s for hhv utløp i Mjøsa, ved Røysliven (RV) og Gamle Røysliven (GRV). Inkludert klimafaktor på 40 % (som anbefales for intens nedbør < 3 timers varighet) blir $Q_{200+Klf}$ hhv 37 m³/s, 34 m³/s og 32 m³/s.

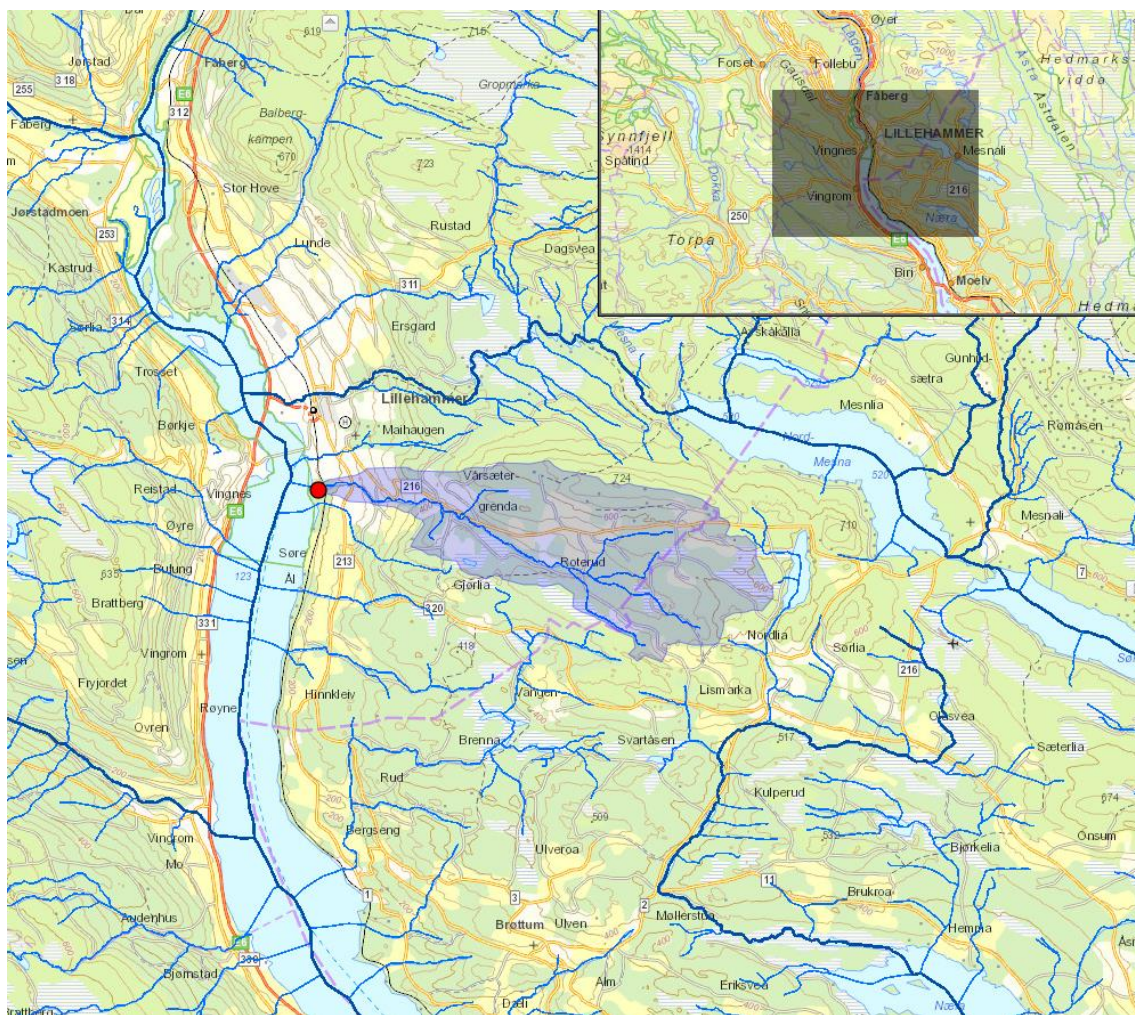
Analysene viser at Q_{200} er mindre enn Rambøl sine beregninger (verdiene til venstre i parentesene i tabellen ovenfor) ved utløpet av Åretta, mens våre beregninger gir høyere verdi ved Gamle Røysliven. Når en tar hensyn til klimafaktoren, så blir verdiene lik for utløpet av Åretta (Rambøl sin verdi til høyre i parentesene), mens våre beregninger gir vesentlig høyere verdi ved Gamle Røysliven.

1 Problemstilling

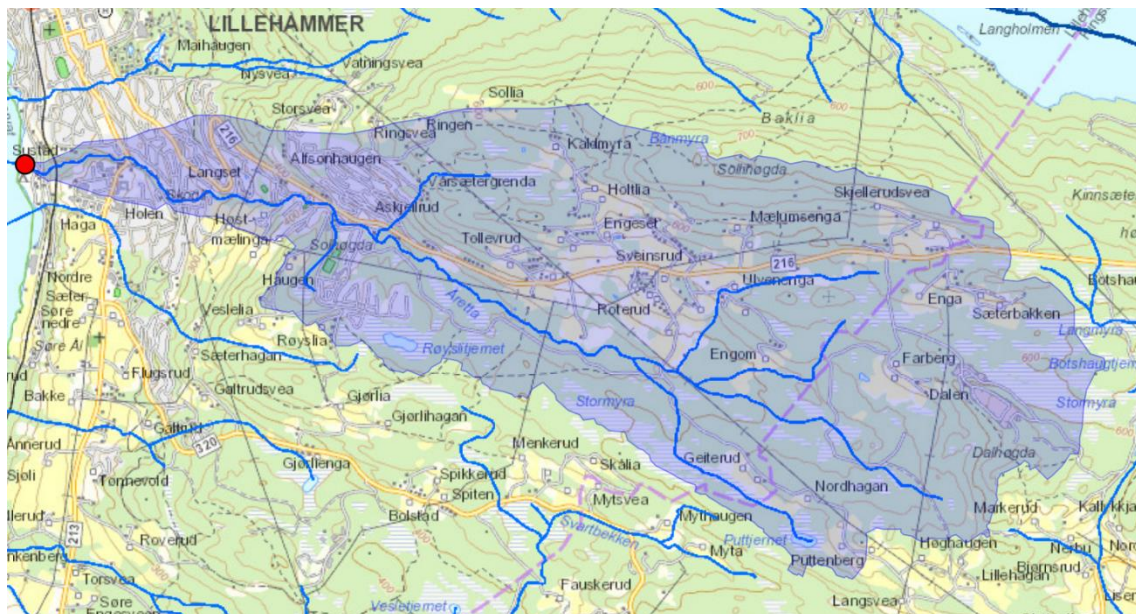
Flomberegningene skal danne underlag for vurdering av flomstørrelse, dimensjonering og kapasitet av bruer og kulverter, samt vannlinjeberegninger, erosjon og flomfare på strekningen fra Røyslimoen til utløp i Mjøsa. Beregningene gjøres for nedbørfeltet til Åretta i punktene utløp i Mjøsa, ved Røyslivegen (RV) og Gamle Røyslivegen (GRV).

2 Feltbeskrivelse

Åretta ligger i Lillehammer kommune og drenerer ned gjennom søndre del av Lillehammer by, i Søre Ål, før den ender ut i Mjøsa (figur 1). Nedbørfeltet oppstrøms Mjøsa er ca. 15,6 km². Det er vanskelig ut fra bare kart å gjøre detaljerte arealberegninger, med bl.a. uklare feltgrenser i myrområder og i de urbane områdene i flomsituasjoner. Det er ikke foretatt feltbefaringer for å kartlegge dreneringsveiene og feltgrensene, så disse baserer seg på analyser i programmet NEVINA, samt ulike kartstudier (figur 2). Det er kun foretatt befaring langs vassdraget i nedre deler av området, fra Røyslimoen og ned til Mjøsa. Høyden i nedbørfeltet fordeler seg på 125 og 722 moh., som gir en høydeforskjell på ca. 500 m, og feltlengden er 8800 meter, dvs. i snitt ca. 7% helning. Øvrige feltparametere er vist i figur 3.



Figur 1. Oversiktskart som viser hele nedbørfeltet til Åretta.



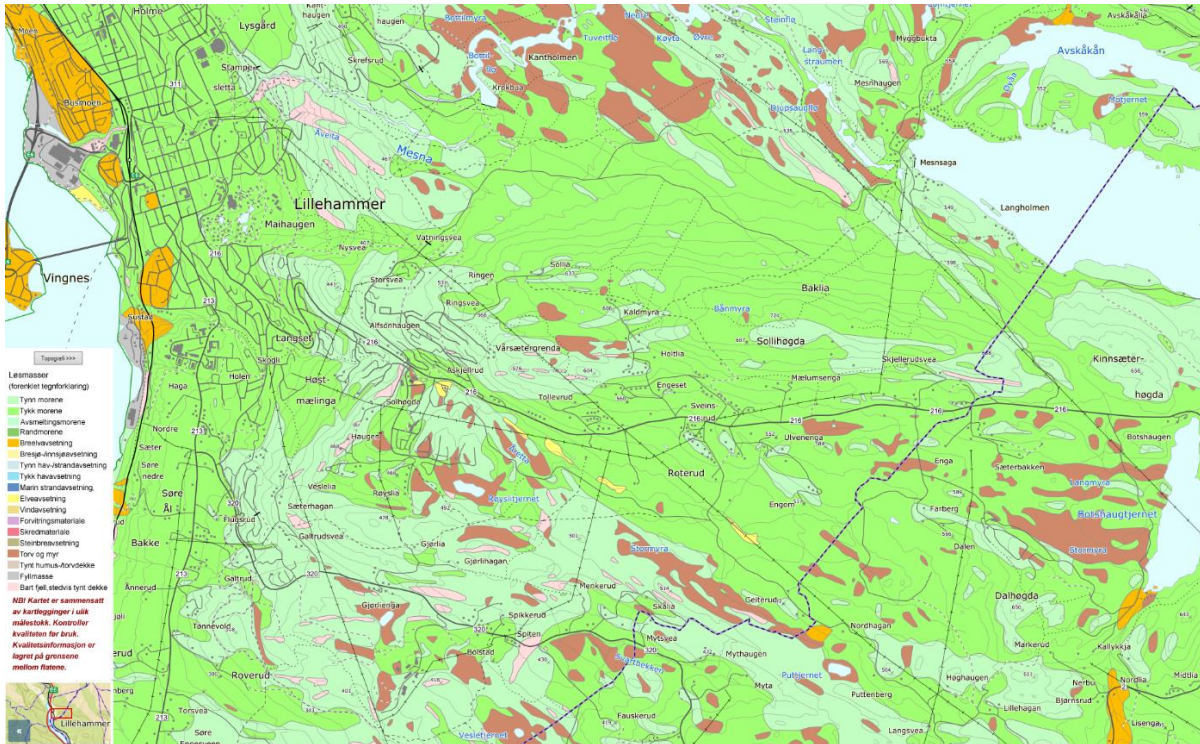
Figur 2. Nedbør-/avrenningsfeltet til Åretta oppstrøms Mjøsa, fra bruk av programmet NEVINA etter noen korrigeringer av feltgrensen via kartstudier.

Vassdragsnr.: 002.DD51		Feltparametere	
Kommune: Lillehammer		Areal (A)	15.6 km ²
Fylke: Oppland		Effektiv sjø (S _{eff})	0.0 %
Vassdrag: VORMA-LÅGEN		Elvelengde (E _L)	8.7 km
		Elvegradient (E _G)	49.5 m/km
		Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	46.6 m/km
		Feltlengde(F _L)	8.8 km
Vannføringsindeks, se merknader		H _{min}	125 moh.
Middelvannføring (61-90)	16.4 l/(s*km ²)	H ₁₀	437 moh.
Alminnelig lavvannføring	0.5 l/(s*km ²)	H ₂₀	472 moh.
5-persentil (hele året)	0.6 l/(s*km ²)	H ₃₀	496 moh.
5-persentil (1/5-30/9)	0.4 l/(s*km ²)	H ₄₀	519 moh.
5-persentil (1/10-30/4)	1.1 l/(s*km ²)	H ₅₀	541 moh.
Base flow	6.4 l/(s*km ²)	H ₆₀	564 moh.
BFI	0.4	H ₇₀	582 moh.
		H ₈₀	599 moh.
Klima		H ₉₀	625 moh.
Klimaregion	Ost	H _{max}	722 moh.
Årsnedbør	743 mm	Bre	0.0 %
Sommernedbør	386 mm	Dyrket mark	9.6 %
Vinternedbør	357 mm	Myr	8.0 %
Årstemperatur	1.1 °C	Sjø	0.3 %
Sommertemperatur	9.2 °C	Skog	64.3 %
Vintertemperatur	-4.7 °C	Snaufjell	0.0 %
Temperatur Juli	11.7 °C	Urban	9.3 %
Temperatur August	11.4 °C		

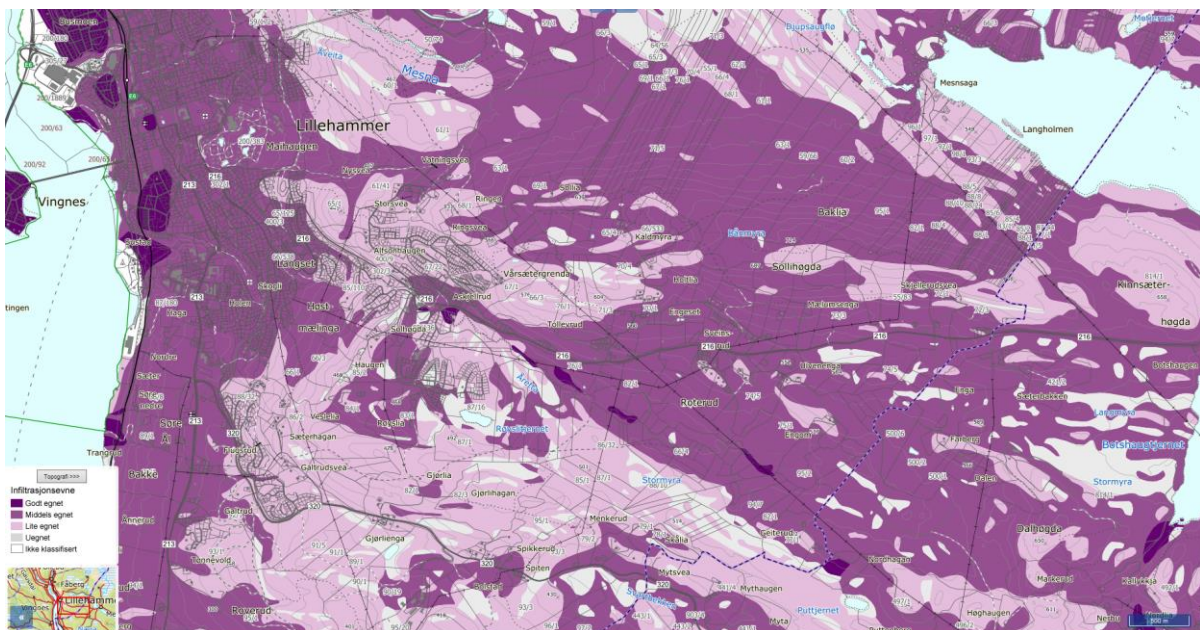
1) Verdien er editert

Figur 3. Feltparametere til nedbør-/avrenningsfeltet til Åretta oppstrøms Mjøsa, fra bruk av programmet NEVINA.

Løsmassene i nedbørfeltet består i stor grad av tykke moreneavsetninger, men stedvis med tynt løsmassedekke, spesielt ved Vårsetergrenda/Røyslimoen og et stykke nedstrøms (figur 4). Det er også noe bart fjell og myrområder i midtre og øvre deler av nedbørfeltet. Ved utløpet i Mjøsa er det breelavsetninger og en del fyllmasser. I tillegg er det sannsynligvis en del mer elveavsetninger langs vassdraget enn det som er vist med gult i figur 4. Det er ellers en del tette flater i bolig- og næringsområdene, spesielt fra og med Vårsetergrenda/Røyslimoen og nedover.



Figur 4. Løsmassekart for nedbør-/avrenningsfeltet til Åretta. Kilde: NGU



Figur 5. Infiltrasjonsevne for nedbør-/avrenningsfeltet til Åretta. Kilde: NGU

3 Analyser

Nedbørfelt og avrenning

Åretta har et relativt bratt (i snitt ca. 7% helning) og raskt nedbørfelt med hurtig avrenning. Moreneområdene er middels til lite egnet til infiltrasjon (figur 5). Dette indikerer relativt høy avrenningskoeffisient i episoder med intens snøsmelting og/eller regn.

Det utføres flomberegninger for ulike steder i elva, hhv utløp i Mjøsa, ved Røyslivegen (RV) og Gamle Røyslivegen (GRV). Feltarealene for de ulike stedene har et areal på hhv 15,6 / 14,1 / 13,3 km² og er vist i figur 2, 6 og 7. Feltparameterne er beregnet via NEVINA, som vist figur 3 og 6.



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.DD51
Kommune: Lillehammer
Fylke: Oppland
Vassdrag: VORMA-LÅGEN

Feltparametere

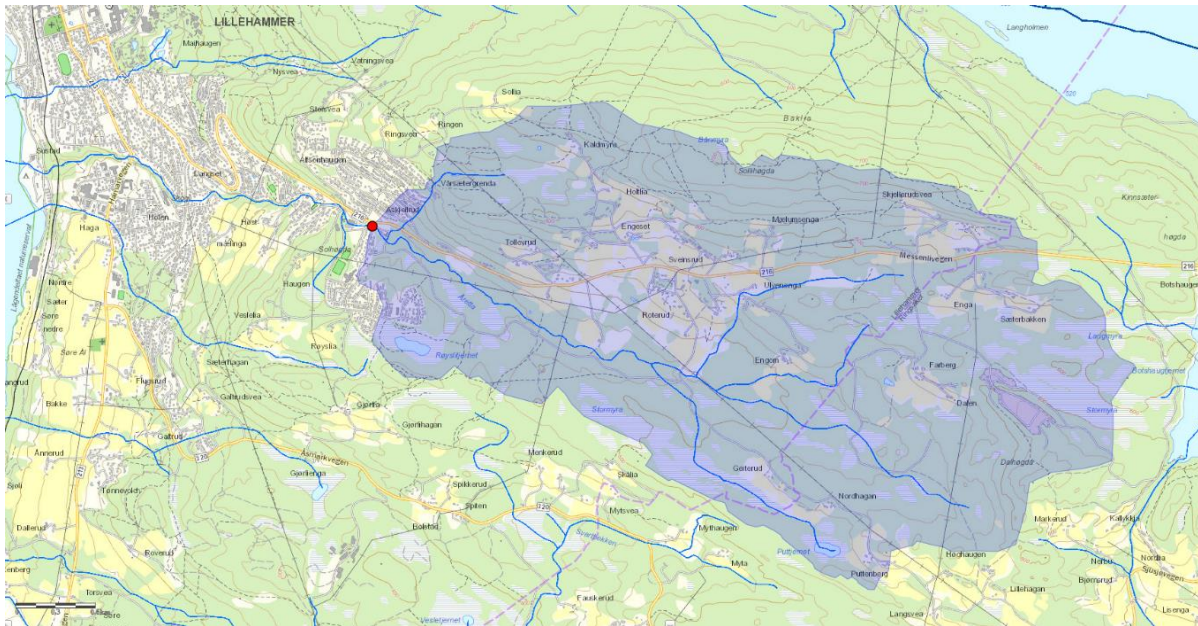
Areal (A)	14,1 km ²
Effektiv sjo (S _{eff})	0,0 %
Elvelengde (E _L)	5,9 km
Elvegradient (E _G)	23,6 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	19,6 m/km
Feltlengde(F _L)	6,2 km
Middelvannføring (61-90)	17,2 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,5 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,6 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,6 l/(s*km ²)
Base flow	7,2 l/(s*km ²)
BFI	0,4
Klima	
Klimaregion	Ost
Årsnedbør	749 mm
Sommernedbør	389 mm
Vintemedbør	360 mm
Årstemperatur	1,1 °C
Sommertemperatur	9,1 °C
Vintertemperatur	-4,7 °C
Temperatur Juli	11,7 °C
Temperatur August	11,4 °C
H _{min}	411 moh.
H ₁₀	464 moh.
H ₂₀	491 moh.
H ₃₀	509 moh.
H ₄₀	527 moh.
H ₅₀	550 moh.
H ₆₀	571 moh.
H ₇₀	588 moh.
H ₈₀	601 moh.
H ₉₀	630 moh.
H _{max}	722 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	9,9 %
Myr	9,6 %
Sjø	0,3 %
Skog	68,1 %
Snaufjell	0,0 %
Urban	3,9 %

1) Verdien er editert

Det er generell stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindekser. 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 6. Nedbør-/avrenningsfeltet og feltparametere for Åretta oppstrøms Røyslivegen, fra bruk av programmet NEVINA etter noen korrigeringer av feltgrensen via kartstudier.



Figur 7. Nedbør-/avrenningsfeltet til Åretta oppstrøms Gamle Røyslivegen, fra bruk av programmet NEVINA etter noen korrigeringer av feltgrensen via kartstudier.

Flomberegning

Det finnes ulike metoder for flomberegning avhengig av tilgjengelige data/observasjoner i området og størrelsen på avrenningsfeltet. I følge ny veileder fra NIFS prosjektet «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» [2] bør en vurdere metodene ut fra datagrunnlag i området, men at det er fornuftig å benytte flere metoder (minst to) og sammenligne resultatene før en går videre med en metode. Det er her brukt fire metoder for flomberegningene. Disse er omtalt i etterfølgende underkapitler.

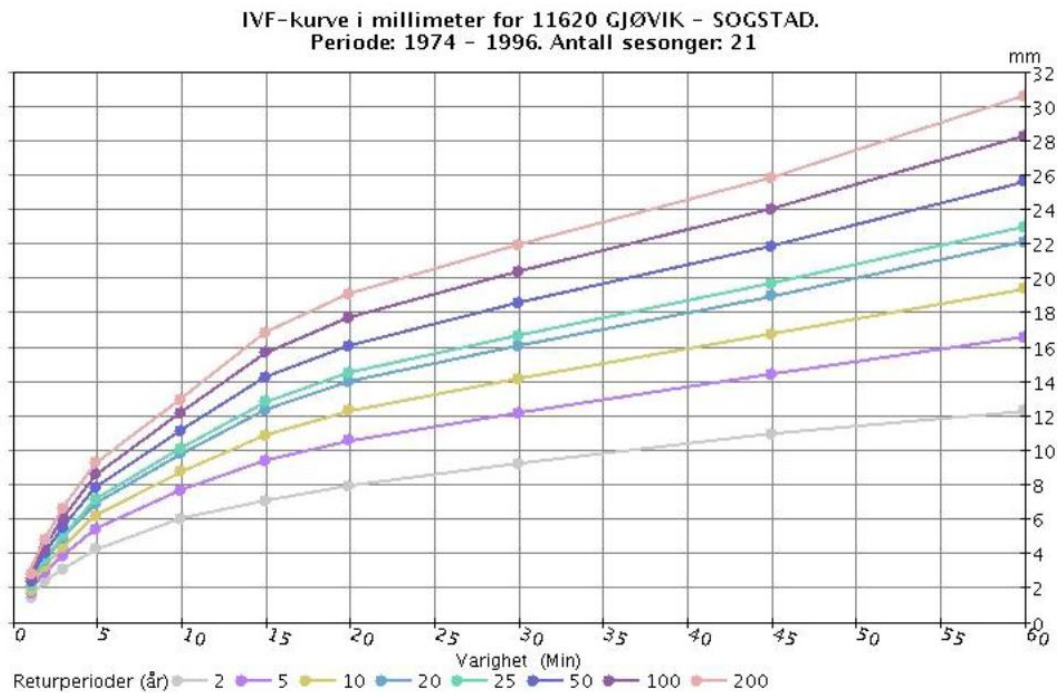
Dimensjoneringsgrunnlag

Tilgjengeligheten av observasjoner i Lillehammer området:

Det eksisterer ingen avrenningsstasjoner i små felt i Gudbrandsdalen eller i nærliggende områder med samme feltegenskaper. Det finnes kun nedbørstatistikk (IVF) fra serier for Lillehammer, Hamar og Gjøvik. Kurven for Lillehammer ser lite sannsynlig ut, med svært lave verdier og unaturlig kurveform. Den for Hamar har lengst serie og er bedre, men ligger slik til at det antas å gi noe mindre nedbør enn det aktuelle området, som bl.a. har mer høydeforskjeller, som i Gjøvik. Maksimalt målt timesverdi for Hamar er 26 mm, mens 200 års verdien på oppdatert kurve for Hamar (frem til 2018) er på ca. 28 mm.

Konklusjon er da at timesverdien for et 200-års regn i området er minst 28 mm, noe som stemmer bra med regionskurven og «tentative» verdier for 200 års nedbør angitt i ny rapport fra NIFS prosjektet [1]. Kurven for Gjøvik (figur 8), som gir noe høyere verdier enn den for Hamar, er således vurdert for å være mest realistisk og representativ for Lillehammer, og benyttes i beregningene.

11620 GJØVIK - SOGSTAD
 Periode: 1974 – 1996. Antall sesonger: 21



Figur 8. IVF kurve i mm for nedbørstasjonen Sogstad på Gjøvik, som er benyttet i flomberegningssanalysene.

Den Rasjonelle formel peker seg ut som en bra metode å benytte her, spesielt da feltet er ganske lite og relativt rask respons. I tillegg er det den metoden som tar mest hensyn til de ulike feltegenskapene, som er viktig når en skal gjøre flomberegninger for de ulike delfeltene. Men en bør først foreta en grov beregning med NVE's nye flomformel [3] for å se om resultatene fra rasjonelle formel ligger innenfor eller i nærheten av det intervallet som NVE's flomformel kommer frem til. I eksempel 2 i den nye veilederen er det f.eks. gjort en tilsvarende beregning for et lite felt i Lillehammer, Lundebekken, og den rasjonelle formel viser fornuftige resultater i forhold til de grove overslagsberegningene med NVE's flomformel. I eksempelet der ble det valgt en dimensjonerende flomverdi helt opp mot øvre del av intervallet for resultatet fra NVE's flomformel. Ved sammenligning av ulike beregningsmetoder i forbindelse med den nye veilederen var den rasjonelle metode like egnet som de andre metodene også på de største feltene opp til 50 km².

Resultatene er også sammenlignet med metodene PQRUT og flomfrekvensanalyse av måledata fra vannføringsstasjonen 2.323 Fura. Flomfrekvensanalysen er vel nesten den mest usikre metoden her, da det ikke finnes felt i nærheten med noenlunde samme feltegenskaper. Resultatene av frekvensanalyse for Fura må derfor justeres ved å vurdere feltegenskapene mot hverandre. For tre ulike nedbørfelt i Lillehammer, bl.a. Åretta, valgte NVE i sin flomrapport fra 2014 å ikke bruke flomfrekvensanalyse fra Fura eller andre stasjoner i området. De benyttet PQRUT og sjekket resultatene fra flomfrekvensanalyser for målestasjonene Sæternbekken og Blomsterkroken i Bærum (ut fra alle målestasjonene på hele Østlandet). NVE's veileder fra 2015 benyttet PQRUT, rasjonelle formel og NVEs nye flomformel for ett av de mindre nedbørfeltene i Lillehammer.

Flomberegning med NVEs nye flomformel

Metoden er nærmere beskrevet i [3], der flomvannføringen beregnes kun ut fra normalavrenninga fra området (QN), feltareal, effektiv innsjøprosent og en klimafaktor. Gyldighetsintervallet mht. areal for bruk av metoden er 0,2 - 53 km², så de ulike nedbørfeltene i Åretta ligger godt innenfor grensene.

Beregningene kan nå gjøres direkte via bruk av programmet NEVINA, som vist i Figur 9. Men som det står med rød skrift i figur 9 er det store usikkerheter i beregningene, bl.a. mht QN. Derfor ble det i eksempel 2 i den nye veilederen anbefalt QN ~ 20 l/s/km² for Lillehammerområdet ved sammenligning med de mest nærliggende målestasjonene. Denne verdien er her således benyttet for alle nedbørfeltene. Resultatet av beregningene er vist i tabell 1.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DD51
Kommune: Lillehammer
Fylke: Oppland
Vassdrag: VORMA-LÅGEN

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentakintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse av formelverket henvises det til NVE –Rapport 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». Det pågår fortsatt forskning for å bestemme klimapåslag for momentanflommer i små nedbørfelt. Frem til resultatene fra disse prosjektene foreligger anbefales et klimapåslag på 1.2 for døgnmiddelflom og 1.4 for kulminasjonsflom i små nedbørfelt.

VORMA-LÅGEN

Areal (km ²)	15.58
Klimafaktor	1.4

	m ³ /s	Q ^M l (s*km ²)	Q ⁵	Q ¹⁰	Q ²⁰	Q ⁵⁰	Q ¹⁰⁰	Q ²⁰⁰
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1.26	1.51	1.76	2.15	2.48	2.86
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	10.3	663.5	13.4	16.3	19.4	24.5	29.0	33.4
Flomverdier (m ³ /s)	5.8	375	7.4	8.8	10.3	12.5	14.5	16.7
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	3.3	212	4.1	4.8	5.4	6.4	7.3	8.4
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	8.2	524.8	8.9	12.3	14.4	17.6	20.3	23.4

Beregningene er automatisk generert og kan inneholde feil. Det er generelt stor usikkerhet i denne typen beregninger. Resultatene må verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. Resultatene er ikke gyldig som grunnlag til flomberegninger for klassifiserte dammer.

Figur 9. Flomberegninger for Åretta rett oppstrøms utløpet i Mjøsa via bruk av programmet NEVINA uten korrigerings av QN.

Nedbørfelt	A (km ²)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
Åretta	15,6	10 - 20 - 39
Åretta RV	14,1	9 -18 - 36
Åretta GRV	13,3	9 - 17 - 34

Tabell 1: Flomberegninger (med korrigerings for QN = 20 l/s/km²) for de ulike nedbørfeltene i Åretta med NVE's nye flomformel for 200 års flom (Q₂₀₀). Resultatene er angitt som intervall mellom nedre grense, medianverdi og øvre grense uten klimapåslag.

Flomberegning med den rasjonelle metoden

Metoden er nærmere beskrevet bl.a. i Myrabø (1991; [4]), der flomvannføringen beregnes ut fra en avrenningskoeffisient, dimensjonerende nedbørintensitet, feltareal og klimafaktor. Avrenningskoeffisienten angir hvor stor del av nedbøren som renner hurtig av og bidrar til flomtoppen, og velges i de ulike deler av feltet ut fra tabell med ulike terrengtyper. Dimensjonerende nedbørintensitet er tatt ut fra IVF-kurven for nedbørstasjonen på Gjøvik med varighet basert på aktuelle tilrenningstider for vannet som bidrar til flomtoppen. Dimensjonerende gjentakintervall er basert på krav i TEK 17, som resulterer i 200 års returperiode. Klimafaktoren settes til 40% på bakgrunn av de siste anbefalingene fra NVE i ny klimaprofil for Oppland (se www.klimaservicesenteret.no).

Siden nedbørfeltene en skal vurdere er ganske bratte og har relativt høy avrenningsfaktor, så forventer en at beregningene med rasjonelle formel skal ligge i øvre intervall til resultatet fra NVE's flomformel.

Avrenninga Q fra de ulike nedbørfeltene er beregnet ved:

$$Q = C \times i \times A$$

- C = avrenningsfaktoren. På bakgrunn av nedbørfeltenes egenskaper, nevnt ovenfor, samt tillegg for 200-års flom, er det ut fra beregninger (regneark fra NVE) og faglige vurderinger valgt å benytte en avrenningskoeffisient C mellom 0,55 og 0,52.
- i = dimensjonerende nedbørintensitet i l/(sxha)
- A = feltareal i ha

Dimensjonerende nedbørintensitet varierer med gjentakintervallet og feltets konsentrasjonstid. Konsentrasjonstida er utregnet ved formelen:

$$t_e = 0,6 \times L \times H^{-0,5} + 3000 \times A_{se} = \text{tidsfaktor i minutt}$$

L = lengde av feltet i meter
H = høgdeforskjellen i feltet i meter
A_{se} = effektiv andel innsjø i feltet = 0 (ingen innsjøer)

i = dimensjonerende nedbørintensitet ut fra IVF-tabell (tabell 2) for Gjøvik med 200 års gjentakintervall ved beregnet konsentrasjonstid for feltet.

11620 GJØVIK - SOGSTAD

Periode: 1974 – 1996

Antall sesonger: 21

($I/s \cdot ha$) Returperioder(år); Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar (10 000m²)

År	Varighet (minutter)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	180	360	720	1440
2	138,7	99,2	77,4	65,5	50,6	40,2	33,9	21,3	16,6	10,9	6,9	4,4
5	177,4	126,4	103,1	87,3	67,2	53,2	45,8	27,6	20,8	13,7	8,5	5,8
10	203	144,4	120	101,7	78,2	61,7	53,6	31,7	23,5	15,5	9,5	6,6
20	227,6	161,7	136,3	115,5	88,8	69,9	61,1	35,7	26,2	17,3	10,5	7,5
25	235,4	167,2	141,5	119,9	92,1	72,5	63,5	36,9	27	17,9	10,8	7,8
50	259,4	184,1	157,4	133,4	102,5	80,5	70,9	40,8	29,6	19,6	11,8	8,6
100	283,2	200,8	173,1	146,9	112,7	88,5	78,2	44,7	32,2	21,3	12,7	9,4
200	306,2	214,8	186,1	158,2	121,5	95,4	84,7	48,2	34,6	22,9	13,7	10,3

Data er gyldig per 14.11.2014 (CC BY 3.0), Meteorologisk institutt (MET)

Tabell 2: IVF-tabell i $I/(s \cdot ha)$ for nedbørstasjonen i Gjøvik, som er benyttet i flomberegningene.

Resultatene av beregningene er vist i tabell 3 og de stemmer ganske bra mht at verdien ligger mellom median og øvre verdi for NVE's flomformel beregnet ovenfor, da disse er automatisk generert og kan ha store usikkerheter, samt ikke tar hensyn til andre feltegenskaper utenom feltareal og innsjøprosent.

Felt	Areal (km ²)	C	L (m)	H (m)	Ase (%)	te (minutt)	i $I/(s \cdot ha)$	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
Åretta	15,6	0,55	8800	600	0	220	31	27
Å RV	14,1	0,53	6200	311	0	210	32	24
Å GRV	13,3	0,52	5900	298	0	200	33	23

Tabell 3: Flomberegninger med den rasjonelle metoden for 200 års flom (Q₂₀₀). C er avrenningsfaktoren, L er feltlengden og H er høydeforskjellen i feltet i meter. Ase er effektiv innsjøprosent, te er konsentrasjonstiden og i er dimensjonerende nedbørintensitet.

Flomberegninger ved PQRUT

Flommodellen i PQRUT er en nedbør-avløpsmodell utviklet av Andersen m.fl. (1983) [2] til bruk i flomberegninger. Flommodulen i PQRUT er en lineær karmodell, der avløpet antas å være proporsjonalt med innholdet. I nedbørfrie perioder er avløpet eksponentielt avtagende. Avløpet beregnes ved å lede nedbøren gjennom karet som er modellert med to utløp (Figur 10).

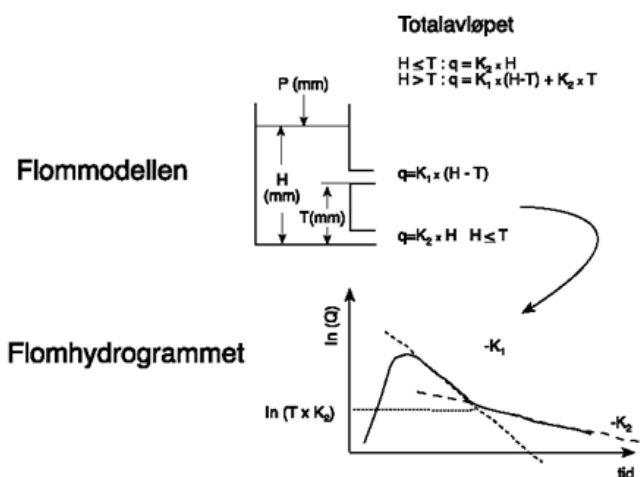
Anbefalt intervall mht. areal for bruk av metoden er 1 - 200 km², så det aktuelle feltet ligger godt innenfor nedre grense. I kalibreringsgrunnlaget for PQRUT inngår 14 nedbørfelt mindre enn 50 km² fra ulike deler av Norge, hvorav 6 er under 10 km². Siden feltet til Åretta er ganske bratt og har relativt høy avrenningsfaktor, så forventer en at beregningene med rasjonelle formel skal ligge en del høyere enn ved PQRUT.

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 10. Skisse av flommodellen i PQRUT og et simulert flomforløp [2].

For at modellen skal gi best mulig resultat bør parameterne helst kalibreres mot observerte flommer, noe som nesten aldri er mulig, som i tilfellet her for Åretta. Derfor er det utviklet ligninger som beskriver parameterne med hjelp av feltparametere:

$$K1 = 0,0135 + 0,00268 \cdot HL - 0,01665 \cdot \ln ASE$$

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

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

hvor

HL: relieff forhold (H50/LF), [m/km]

H50: høydeforskjell i meter mellom 25 og 75% passasjen på feltets hypsografiske kurve

LF: feltaksens lengde

ASE: effektiv innsjøprosent, [%]

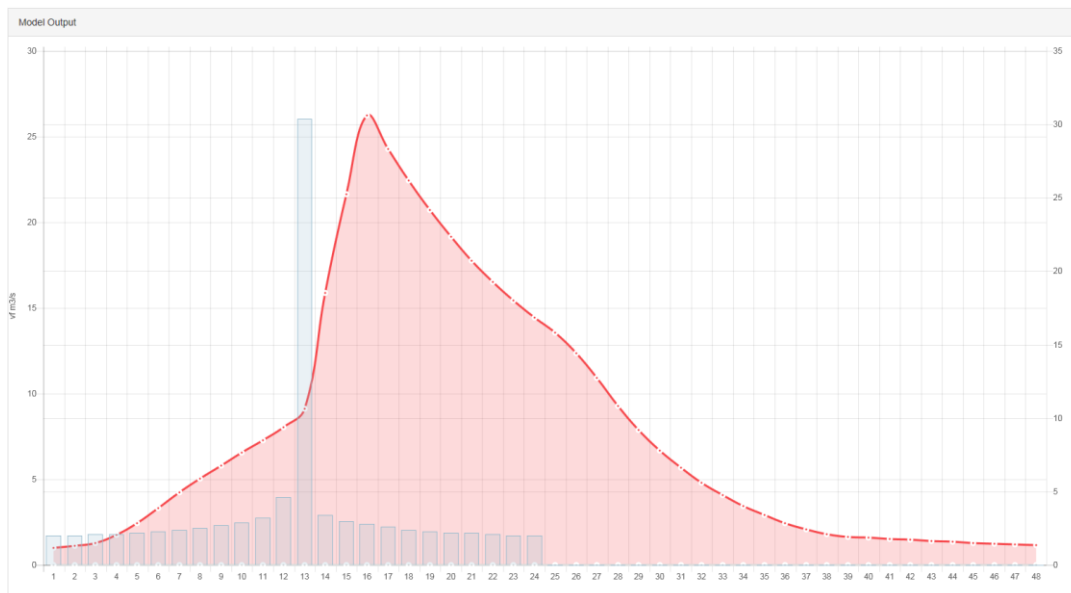
qN: midlere spesifikt årsavløp 1961-1990, [l/s·km²]

NVE har nylig lagt ut en web versjon: <http://pqrout.nve.no/#/>

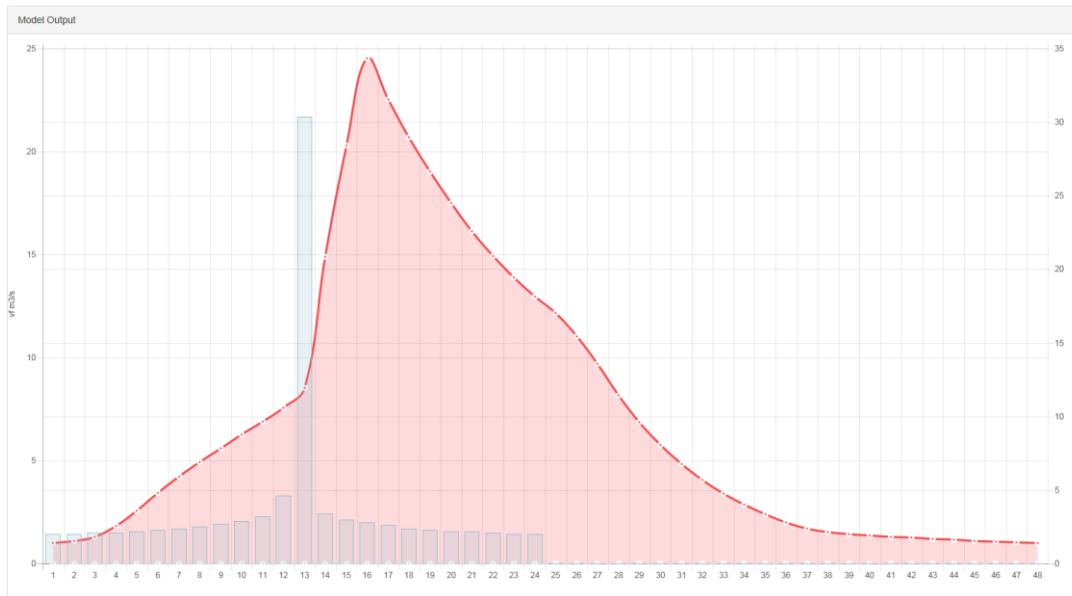
Simuleringsresultatene med PQRUT er vist i tabell 4. Nedbørforløpet er satt opp som vist i figur 11-13, med høyeste timesintensitet i midten og fordelt avtagende mot start og slutt av nedbørepisoden, slik at en får den høyeste intensiteten med ulik tidsoppløsning fra midten og utover på hver side.

Nedbørfelt	A (km ²)	Q ₂₀₀ PQRUT (m ³ /s)
Åretta	15,6	26
Åretta RV	14,1	24
Åretta GRV	13,3	23

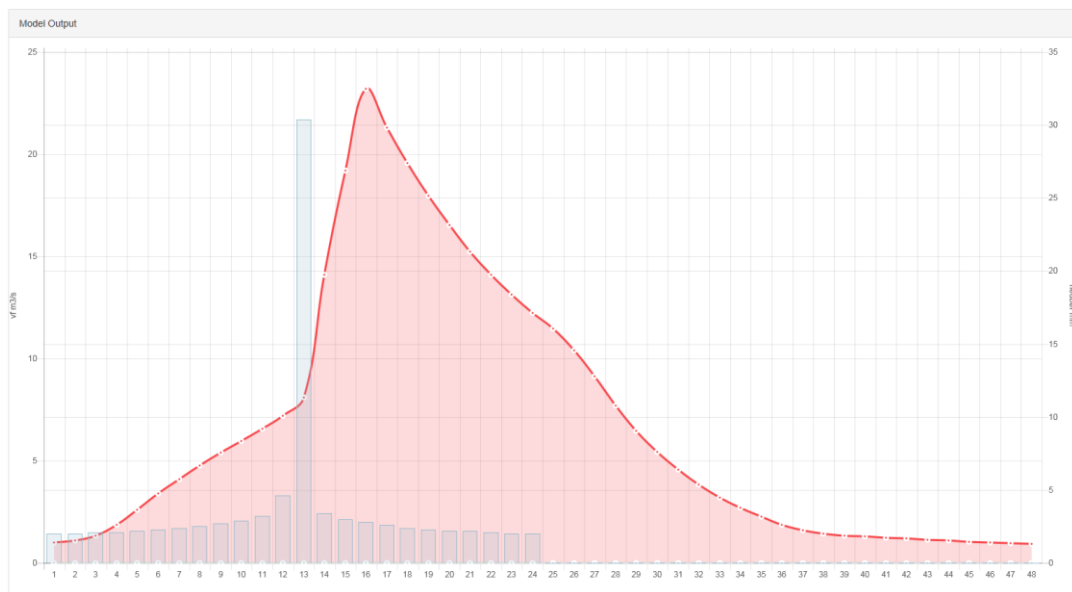
Tabell 4: Flomberegninger for de ulike nedbørfeltene i Åretta med PQRUT for 200 års flom (Q₂₀₀).



Figur 11. Beregninger (hydrogram) av Q₂₀₀ i PQRUT ved utløp i Mjøsa. Vannføringen angitt på venstre akse og nedbør på høyre.



Figur 12. Beregninger (hydrogram) av Q_{200} i PQRUT ved Røyslivegen. Vannføringen angitt på venstre akse og nedbør på høyre.



Figur 13. Beregninger (hydrogram) av Q_{200} i PQRUT ved Gamle Røyslivegen. Vannføringen angitt på venstre akse og nedbør på høyre.

Flomberegninger ved flomfrekvensanalyse

Flomfrekvensanalyse av måledata fra vannføringsstasjonen 2.323 Fura er basert på bruk av NVEs programvare for flomfrekvensanalyse i DAGUT og FINUT. Erfaringsmessig så spriker resultater av flomfrekvensanalyser fra målestasjoner i nærliggende områder veldig ofte. Feltegenskapene betyr ganske mye, men det er også generelt store usikkerheter i beregningene, og ikke minst i datagrunnlaget.

Resultatene for årsflommer for Fura vist i tabell 5 er beregnet ved bruk av Gumbel fordelingen (EV1), General Extreme Value fordelingen (GEV) og Generalized Logistic fordeling (GL). Her er den best tilpassede fordelingen (GL) brukt. Resultatet av analysen for døgnndata er vist i figur 14. I tabell 5 er også feltegenskapene for de to feltene satt opp for å ha et sammenligningsgrunnlag.

Hvis en antar at Åretta og Fura har omtrent samme døgnmiddelflom, så er det ikke urimelig at Åretta har en god del høyere momentanflom enn Fura, da Åretta både har mindre feltareal, brattere felt, raskere responstid og høyere avrenningsfaktor (bl.a. på grunn av ulike typer overflater og løsmasser). Anslåtte flomverdier for Åretta er angitt med grå skrift i tabell 5.

Målestasjon	Areal (km ²)	C	L (m)	H (m)	H/L (%)	te (min)	Q _{200d} (l/s/km ²)	Q _{200s} (l/s/km ²)
2.323 Fura	36,8	0,45	10000	309	3,1	300	870	1300
Åretta	15,6	0,55	8800	600	6,8	220	900	1500-1800

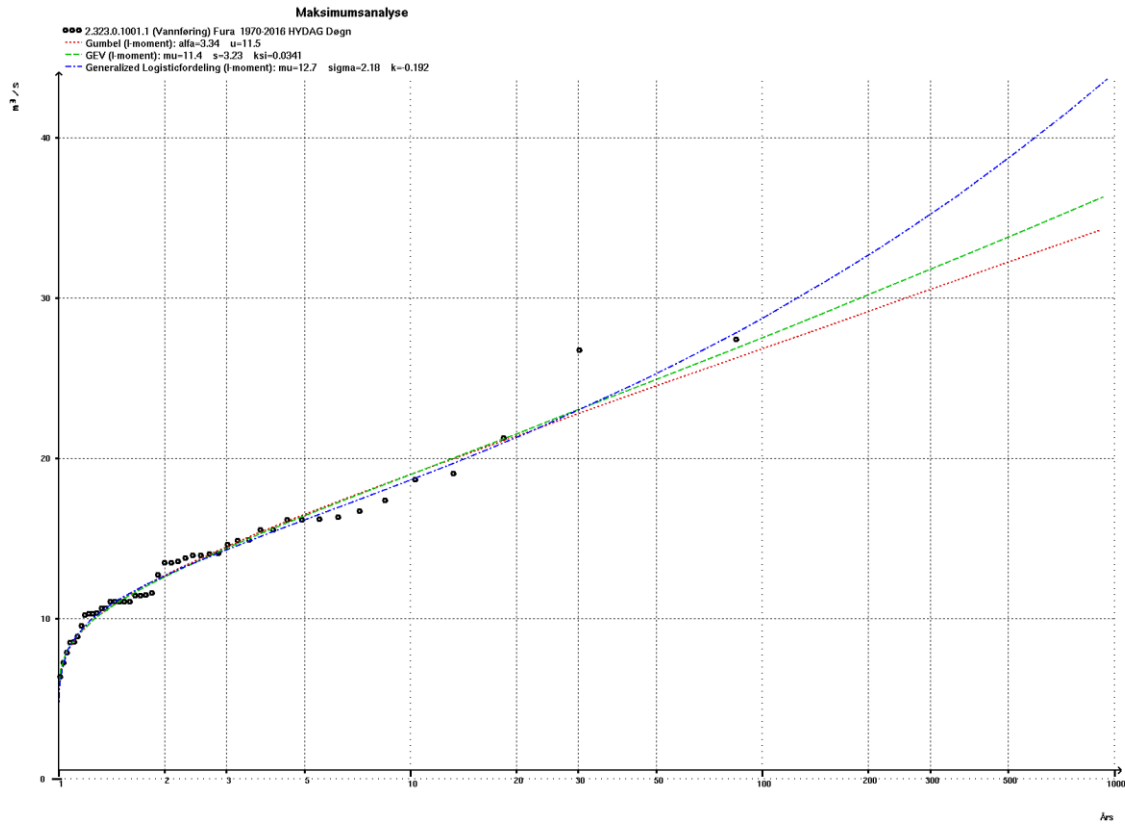
Tabell 5: Feltopplysninger for Åretta sammenlignet med målestasjonen Fura (1970 - dd), som er benyttet til frekvensanalysen. Resultatene av alle beregningene for 200 års flom; q_{200d} (døgnverdi beregnet fra frekvensanalysen i DAGUT) og q_{200s} (spesifikk kulminasjonsverdi/spissverdi beregnet i FINUT) er vist i de to siste kolonnene sammen med anslåtte verdier for Åretta.

For å vurdere de ulike metodene mot hverandre, så er det også utført sammenligning av flomberegninger med Rasjonelle metoden, NVE's nye Nasjonale flomformel og PQRUT for Åretta og Fura for 200 års flom (Q₂₀₀). Som en ser av tabell 6, så gir som forventet Rasjonelle metode relativt stor forskjell pga at den tar hensyn til de ulike feltegenskapene. PQRUT gir nesten samme vannføring, da høydeforskjellen i midtre del av begge feltene (H75-H25) er omtrent den samme. PQRUT ser ut for å gi alt for høy flomverdi for Fura. Nasjonale flomformel gir tilsvarende små forskjeller som for PQRUT, da vi har antatt samme middelvannføring (QN) for begge feltene.

Nedbørfelt	A (km ²)	Q ₂₀₀ Rasj (l/s/km ²)	Q ₂₀₀ PQRUT (l/s/km ²)	Q ₂₀₀ Nasj (l/s/km ²)	Q _{200s} flomfr. (l/s/km ²)	Q _{200s} (l/s/km ²)	Q _{200s} /Q _{200d} Fura
Åretta	15,6	1690	1680	1250-2500		1680	1,9
Fura	36,8	1150	1580	1110-2230	1300	1300	1,5

Tabell 6: Sammenligning av flomberegninger med Rasjonelle metoden, NVE's nye Nasjonale flomformel (middel og øvre grense) og PQRUT for Åretta og Fura for 200 års flom (Q₂₀₀).

Forholdstallet mellom spissavrenningen og døgnmiddelflommen for Fura (q_{200s}/q_{200d}) er estimert til om lag 1,5, og da er det på bakgrunn av de ulike feltegenskapene ikke urimelig at det samme forholdstallet for Åretta kan anslås å være omkring 1,7 til 2,0. Her antar vi ca. 1,9 på bakgrunn av flomberegningene for spissavrenningen med de andre metodene.



Figur 14. Resultatet av flomfrekvensanalysen for døgndata fra Fura beregnet ved bruk av Gumbel fordelingen (EV1), General Extreme Value fordelingen (GEV) og Generalized Logistic fordeling (GL).

4. Sammenligning av resultat og valg av flomverdier

Det er brukt fire metoder for å utføre flomberegningene for Åretta. For å sammenligne resultatene, brukes verdiene uten klimapåslag. For Åretta ved utløp i Mjøsa gir beregningene med den rasjonelle metoden en 200 års kulminasjonsflom på ca. 27 m³/s. Den rasjonelle metoden gir erfaringsmessig ofte litt høye tall, som kan justeres noe ned etter erfaring og i sammenligning med de øvrige metodene. NVEs flomformel gir en kulminasjonsverdi (i middel) på 20 m³/s, mens PQRUT gir en flomtopp på 26 m³/s. Ut fra flomfrekvensanalysene for Fura antas verdien for Åretta å ligge på mellom 23-28 m³/s.

Som vist i tabell 7, så gir beregningene med den rasjonelle formel og PQRUT sammenlignbare verdier for Åretta, samtidig som disse verdiene er fornuftige mht til antagelsene i forhold til resultatene fra NVEs flomformel og flomfrekvensanalysen for Fura. Sammenligning av resultatene gir derfor en kulminasjonsverdi for flommen ved Q₂₀₀ på 26 m³/s, 24 m³/s og 23 m³/s for hhv utløp i Mjøsa, ved Røyslivegen (RV) og Gamle Røyslivegen (GRV). Inkludert klimafaktor på 40 %, som anbefales for intens nedbør < 3 timers varighet (selv om *konsentrasjonstiden her er ca. 3,5 timer*) blir Q_{200+Klf} hhv 37 m³/s, 34 m³/s og 32 m³/s. Det er dette som vil bli brukt som dimensjonerende grunnlag.

Nedbørfelt	A (km ²)	Q ₂₀₀ Rasj (m ³ /s)	Q ₂₀₀ PQRUT (m ³ /s)	Q ₂₀₀ Nasj (m ³ /s)	Q ₂₀₀ Fura (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ Ramb (m ³ /s)
Åretta	15,6	27	26	20-39	23-28	26	(31 – 37)
Åretta RV	14,1	24	24	18-36		24	(25 – 30)
Åretta GRV	13,3	23	23	17-34		23	(22 – 26)

Tabell 7: Sammenligning av flomberegninger med Rasjonelle metoden, NVE's nye Nasjonale flomformel og PQRUT for de ulike nedbørfeltene i Åretta for 200 års flom (Q₂₀₀), samt anslått verdi ut fra flomfrekvensanalysene av Fura. Q₂₀₀ Ramb angir Rambøll sine tidligere beregninger, der verdiene til venstre og høyre i parenteser er hhv uten og med klimafaktor.

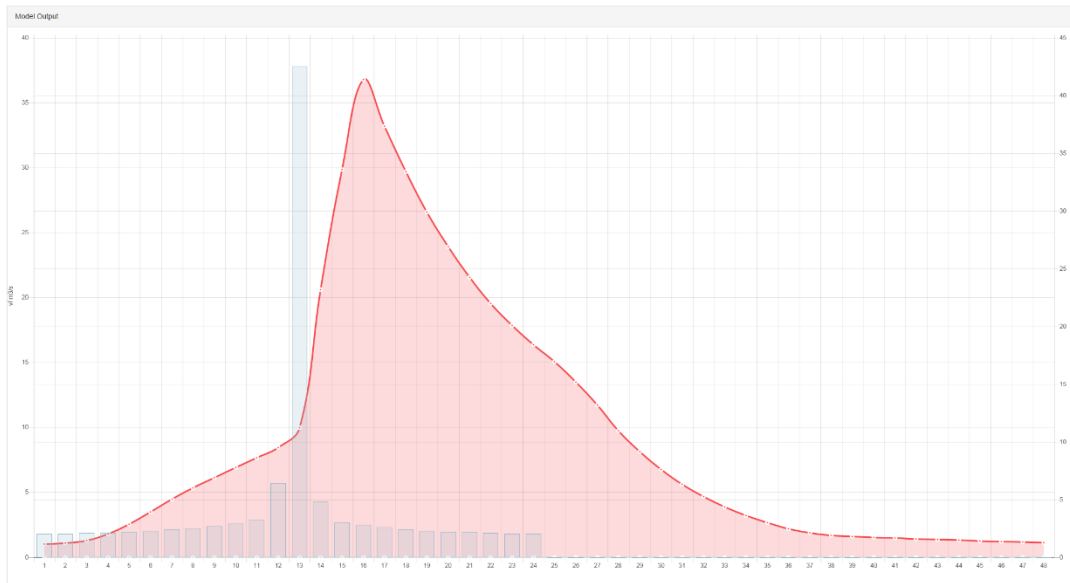
Analysene og resultatet viser at Q₂₀₀ er mindre enn Rambøll sine beregninger (verdiene til venstre i parenteser i tabell 7) ved utløpet av Åretta, mens våre beregninger gir litt høyere verdi ved Gamle Røyslivegen. Når en tar hensyn til klimafaktoren, så blir verdiene lik for utløpet av Åretta (Rambøll sin verdi til høyre i parenteser i tabell 5), mens våre beregninger gir vesentlig høyere verdi ved Gamle Røyslivegen.

Årsaken til forskjellene er at Rambøll sine flomverdier baserer seg på beregninger gjort av NVE ved bruk av PQRUT og nedbørverdier fra Blindern. Blindern har mye høyere korttidsnedbør enn Lillehammer. Rambøll har ikke gjort egne flomberegninger for de ulike stedene, kun skalert ned verdiene mht reduksjon i areal og urbaniseringsgrad. Rambøll har benyttet/lagt til grunn 20 % klimafaktor, da dette var vanlig å gjøre på det tidspunktet de utførte sine flomberegninger i 2015.

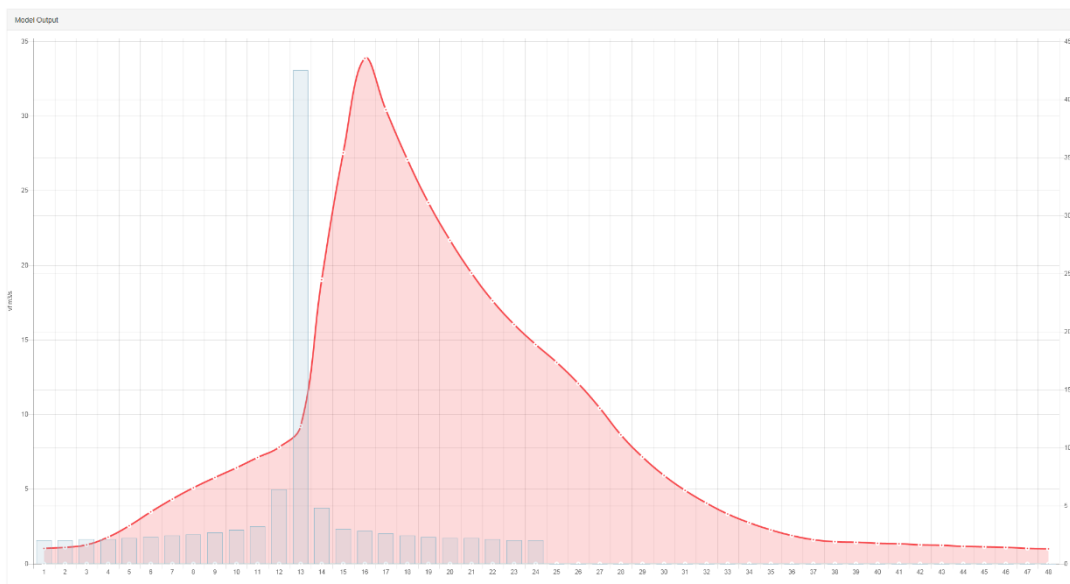
5. Flomhydrogram

For å gjøre vannlinjeberegninger på de ulike strekningene må en først beregne et flomforløp for en angitt nedbørepisode, her et antatt 200 års nedbørførløp med klimapåslag på grunnlag av IVF-dataene for Gjøvik. Dette gjøres i PQRUT og modellkjøringene er kalibrert mot at det skal være en flomtopp som en kom frem til via flomberegningene med klimapåslag.

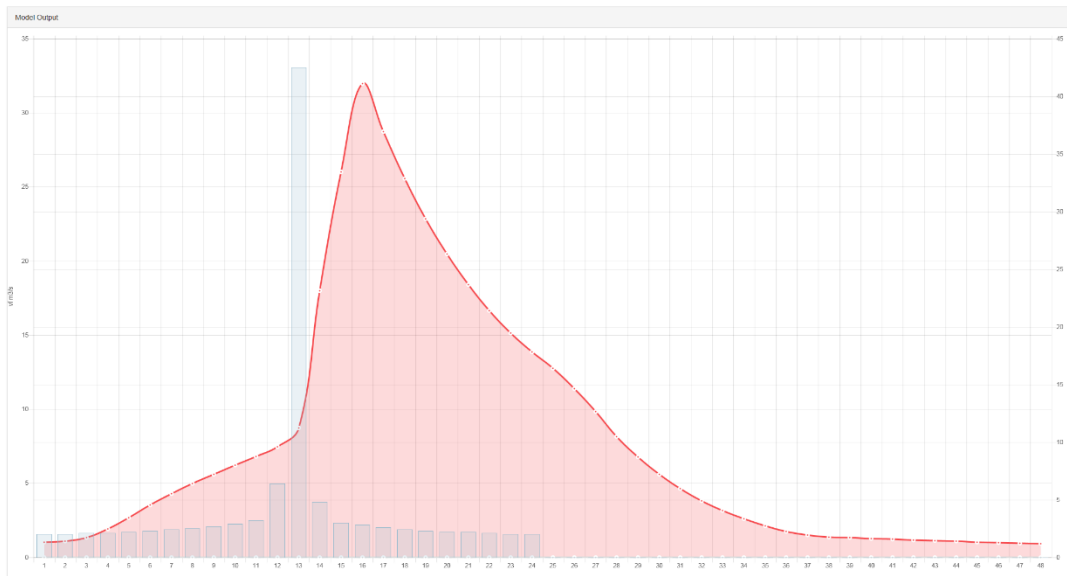
Flommodulen i PQRUT anbefales brukt til felt med en størrelse på 1-200 km². Flomhydrogrammet vist i figurene 15 - 17 viser simulering for 200 års flom for de ulike feltene til Åretta.



Figur 11. Beregninger (hydrogram) av $Q_{200+Klf}$ i PQRUT ved utløp i Mjøsa. Vannføringen angitt på venstre akse og nedbør på høyre.



Figur 12. Beregninger (hydrogram) av $Q_{200+Klf}$ i PQRUT ved Røysliven. Vannføringen angitt på venstre akse og nedbør på høyre.



Figur 13. Beregninger (hydrogram) av Q_{200+kl} i PQRUT ved Gamle Røyslivegen. Vannføringen angitt på venstre akse og nedbør på høyre.

Referanser

1. Førland, E.J., Mamen, J., Dyrddal, A.V., Grinde, L. og Myrabø, S. (2015): Dimensjonerende korttidsnedbør. NIFS rapport 134 – 2015.
2. Stenius, S., Glad, P.A., Wang, T.K. og Væringstad, T. (2015): Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE Veileder 7-2015.
3. Glad, P.A., Reitan, T. og Stenius, S. (2015): Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt. NIFS rapport 13-2015
4. Myrabø, S. (1991): Flomberegninger. NVE Oppdragsrapport 8-91.

B01	2018-07-09	Til oppdragsgiver	STMYR	SJOA	STMYR
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.