Flomberegning for Storelva i Utvik (087.4Z)

Stryn kommune, Sogn og Fjordane

Ann-Live Øye Leine

94
2017

RAPPORT

Rapport nr 94-2017
Flomberegning for Storelva i Utvik (087.4Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Ann-Live Øye Leine

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag:

Forsidefoto: Inntaksbasseng, Utvik krv. Etter flommen 24. juli 2017 (Foto: NVE)

ISBN 978-82-410-1649-3

ISSN 1501-2832

Sammendrag: Det er beregnet middelflom og flommer med gjentaksintervall 50, 100 og 200 år for Storelva i Stryn kommune. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til ventede klimaendringer. Rapporten inkluderer også vurdering av kulminasjonsvannføringen under katastrofeflommen 24. juli 2017.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Utvik

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

2017

Innhold

Forord **2**

Sammendrag **3**

1 Beskrivelse av nedbørfeltet **4**

2 Målestasjoner **6**

3 Flomberegninger **9**

3.1 Estimat fra formelverk 9
3.2 Nedbør – avløpsmodell, PQRUT 11
3.3 Flomfrekvensanalyser og regionalt formelverk 12
3.4 Endelig valg av flomvannføring, Q_{200} 14
3.5 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer 16

4 Flommen 24.juli 2017 ..... **17**

5 Usikkerhet **23**

6 Referanser **24**

Vedlegg **25**

Forord

Hydrologisk avdeling har for Region Vest utført flomberegninger for Storelva i Utvik i Stryn kommune i Sogn og Fjordane. Skred- og vassdragsavdelingen skal prosjektere et sikringstiltak langs elva etter de omfattende skadene elva gjorde 24.juli 2017. Flomberegningen utgjør det hydrologiske grunnlaget for prosjekteringen.

Middelflom og flommer med gjentaksintervall 50, 100 og 200 år er beregnet. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til ventede klimaendringer.

Det er også gjort vurderinger ift. hvilken kulminasjonsvannføring man hadde 24.juli 2017. Demiss Kebede Ejigu og Per Ludvig Bjerke har bidratt med hydrauliske vurderinger knyttet til estimat av vannføringen under flommen.

Arbeidet ble utført september/oktober 2017. Et notat med oppsummering av resultatene ble gitt til Region Vest i begynnelsen av oktober. Det er også etablert en vannlinjemodell for Storelva. Denne rapporten inkluderer ikke vannlinjeberegningene, da endelige løsninger for sikringstiltak og inkludering av disse i den hydrauliske modellen ikke er klar enda.

Ann-Live Øye Leine har utført flomberegningene, og Erik Holmqvist har kvalitetskontrollert arbeidet.

Oslo, desember 2017

Sverre Husebye
seksjonssjef

Ann-Live Øye Leine
overingeniør

Sammendrag

Hydrologisk avdeling har for Region Vest utført flomberegninger for Storelva i Utvik i Stryn kommune i Sogn og Fjordane. Skred- og vassdragsavdelingen skal prosjektere et sikringstiltak langs elva etter de omfattende skadene elva gjorde 24.juli 2017. Flomberegningen utgjør det hydrologiske grunnlaget for prosjekteringen. Middelflom og flommer med gjentaksintervall 50, 100 og 200 år er beregnet. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til ventede klimaendringer.

Det er også gjort vurderinger ift. vannføring i Storelva under flommen den 24.juli.

Flomberegningen er kontrollert av Erik Holmqvist, NVE.

Det finnes ingen vannføringsstasjon i vassdraget. Flomberegningene er derfor basert på formelverk for små nedbørfelt (Glad mfl., 2015), nedbør-avløpmodell (PQRUT) med påregnelig ekstremnedbør fra MET, samt flomfrekvensanalyser fra sammenligningsstasjoner i regionen. Verdiene er i tillegg sammenlignet med regionale flomformler og frekvensfordelinger.

Kulminasjonsvannføringer i Storelva i Utvik:

Sted	**Areal**	**Q_M**		**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
	km^2	l/s·km^2	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	l/s·km^2	l/s·km^2	l/s·km^2
Storevla	24,7	2227	55	108	123	140	4354	4975	5681

Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100), klimapåslag på 40 %:

Sted	**Areal**	**Q_M**		**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
	km^2	l/s·km^2	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	l/s·km^2	l/s·km^2	l/s·km^2
Storevla	24,7	3118	77	151	172	196	6096	6965	7953

Med bakgrunn i det tilgjengelige datagrunnlaget for denne beregningen kan usikkerheten i resultatene regnes som **stor** «Brukbart hydrologisk datagrunnlag i kombinasjon med store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området».

På grunn av stor usikkerhet i beregningene, er det vist et nedre og et øvre estimat for Q_{200}. Øvre estimat anbefales brukt for dimensjonering i Storelva ved Q_{200}. Det anbefales å gjøre følsomhetsanalyser for +/- 10 % endring i kulminasjonsvannføring.

For at sikringstiltak skal kunne tåle flommer på nivå med flommen 24.juli bør verdier opp mot 250 m^3/s benyttes som kulminasjonsvannføring. Det er meget stor usikkerhet knyttet til anslag på vannføringen den 24. juli, men det antas at kulminasjonsvannføringen ligger mellom 170-250 m^3/s. I dagens klima tilsvarer flommen den 24.juli et gjentaksintervall mellom ca. 300 og 1000+ - årsflom. I et fremtidig klima tilsvarer dette en flom et sted mellom 50 og 500-årsflom.

1 Beskrivelse av nedbørfeltet

Flommer kan forekomme hele året, men oftest på sensommeren og høsten.

Feltkarakteristikker for nedbørfeltet (087.4Z) er vist i tabell 1 og feltgrensene er vist i figur 1. Mer detaljert informasjon om nedbørfeltet til Storelva er gitt i Vedlegg 1.

Bre kan bidra til økt avrenning i form av smelting, og i kombinasjon med nedbør gi store flommer. I Storelva sitt nedbørfelt er breandelen er såpass liten (satellittbilder antyder enda mindre breandel enn hva som er oppgitt i tabell 1), at den ikke antar å bidra i stor grad til flomvannføringene.

Det er etablert 3 minikraftverk i vassdraget. Utvik I ble etablert 1929, Utvik II i 1948 og i 1980 satte man inn enda et aggregat, Utvik III . Der er ingen reguleringsmagasin, og vannføringen i elva antas uregulert under flom.

Tabell 1. Feltkarakteristika for nedbørfeltet.

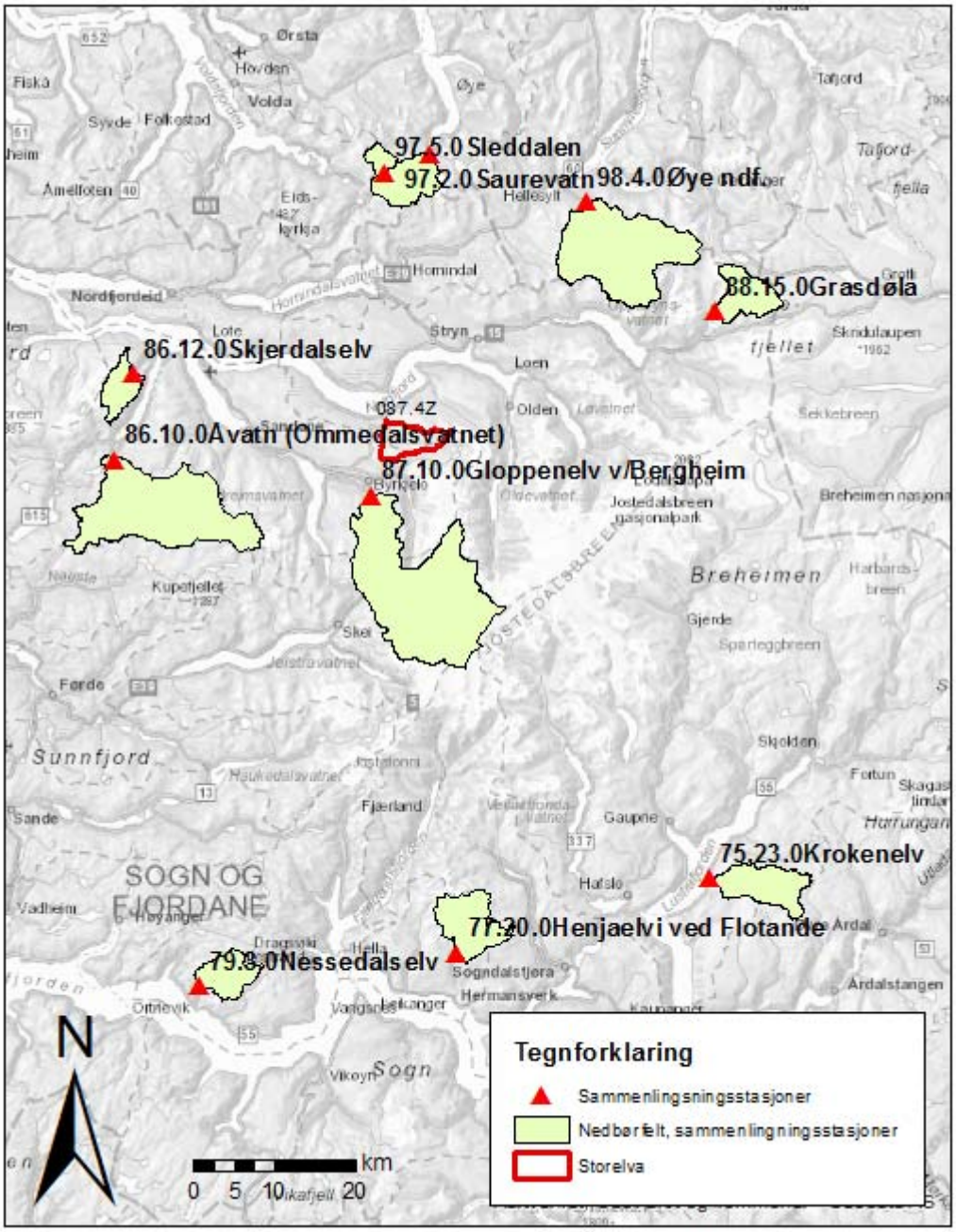
Sted	**Felt-areal,** A, km^2	**Q_N (61-90)[1]** $l/s \cdot km^2$	**Eff. sjø,** A_{SE}	**Median høgde,** H_{50} moh.	**Feltlengde,** L_F, km	**Breandel,** %
Storelva	24,7	62,8	0,0	843	8,2	3,2

[1] Avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for normalperioden 1961-1990.

Figur 1. Nedbørfeltet (A= 24,7 km^2) til Storelva, oppstrøms øverste bru over Fv60.

2 Målestasjoner

Representative vannføringsstasjoner kan bidra til å gi et godt estimat på flomvannføring i et umålt felt dersom man har tilgang på representative vannføringsstasjoner med lange tidsserier. Felthydrologen for området har uttalt seg om kvaliteten på flomdata fra stasjonene. En oversikt over sammenligningsstasjoner for området er gitt i tabell 2. Beliggenhet og feltgrenser er vist i figur 2.



Figur 2. Nedbørfelt til sammenligningsstasjoner i området (sort). Analysefeltet er markert med rødt.

På Vestlandet kan man normalt gjøre sammenligninger med målestasjoner som har like feltegenskaper selv om de ligger forholdsvis langt unna hverandre, så fremt de ligger innen samme klimatiske forhold (stor nedbørgradient øst/vest). Altså er det viktigere å passe avstanden øst/vest enn nord/sør. Det har likevel vært vanskelig å finne representative sammenligningsstasjoner til Storelva.

Tabell 2. Feltkarakteristika for aktuelle sammenligningsstasjoner.

Stasjon	**Måle-periode**	**Felt-areal** (km^2)	**Q_N (61-90)** ($l/s \cdot km^2$	**Q_{obs}** ($l/s \cdot km$	**Eff. sjø** (%)	**Median-høyde** moh.	**Bre-andel** %
Storelva	-	24,7	62,8	-	0,0	843	3
75.23 Krokenelv	1965-2016	46	47	49	0,1	1148	0
77.20 Henjaelvi v/Flota	2007-2016	48	65	81	0,50	922	7
79.3 Nessedalselv	1983-2016	30	63	75	1,3	820	0
86.10 Åvatn	1974-2015	162	80	81	1,5	696	1
86.12 Skjerdalselv	1979-2016	24	119	143	1,1	1042	17
87.7 Storelva v/ Innvik	2001-2005	27	66	(58)	0,0	900	11
87.10 Gloppen v/ Berg	1970-2016	217	79	75	0,3	1045	7
88.15 Grasdøla	1979-2016	34	71	(62)	2,1	1253	8
97.2 Saurevatn	1966-2001	46	73	-	1,6	708	1
97.5 Sleddalen	1998-2011	9	74	95	-	740	3
98.4 Øye ndf.	1916-2014	139	62	61	0,3	982	4

Q_N årsmiddelavrenningen i perioden 1961-90 beregnet fra NVEs avrenningskart.

Q_{obs} årsmiddelavrenningen beregnet for periode med tilgjengelige observasjoner.

Målestasjon 75.23 Krokenelv ligger 60 km sørøst for Storelva. Feltet er et lite, raskt og høytliggende felt og har noe mindre avrenning enn Storelva fordi den ligger litt lenger inn i landet. Stasjonen har en lang tidsserie med data fra 1965. Vannføringskurven på flom er vurdert som middels god.

77.20 Henhaelvi ved Flotande ligger 60 km rett sør for Storelva. Feltparameterne er sammenlignbare med Storelva. Feltet har 7 % bre. Målestasjonen har data fra 2007. Datakvaliteten er noe usikker på flom, da der mangler flomvannføringer på vannføringskurven. Vannføringskurven ble sist endret 15.09.15.

Målestasjon 79.3 Nessedalselv ligger ca.70 km sørvest for Storelva. Feltet er sammenlignbart med Storelva, men har noe større demping pga. effektiv sjøprosent på 1,3 %. Målestasjonen har vært i drift siden 1983. Stasjonen skal være god på flomvannføringer. Vannføringskurven ble sist endret 05.03.16.

Målestasjon 86.10 Åvatn ligger ca. 35 km sørvest for Storelva. Åvatn har et mye større feltareal (A= 162km^2), høyere effektiv sjøprosent og høyere middelavrenning sammenlignet med analysefeltet. Målestasjonen har vært i kontinuerlig drift siden 1974. Vannføringskurven ble sist revidert 29.10.2007. Vannføringskurven på flom er vurdert som bra.

Målestasjon 86.12 Skjerdalselv ligger ca. 35 km vest for analysefeltet og er godt eksponert for vestaværet, og har derfor en vesentlig høyere avrenning enn Storelva. Feltet

har sammenlignbar feltstørrelse, men har en noe høyere effektiv sjøprosent og breandel. Målestasjonen har vært i drift siden 1979. Vannføringskurven er vurdert som ok på flom.

Målestasjonen 87.7 Storelva i Innvik. Stasjonen har data fra 2001-2005, kun komplette data for 2002-2004. Stasjonen ble opprettet i forbindelse med kraftverksplanleggingen i elva. Datakvaliteten anses som dårlig da det ikke er gjort noen vannføringsmålinger på flom.

Målestasjon 87.10 Gloppenelv v/Bergheim ligger 10 km sørvest for Storelva. Stasjonen har et mye større feltareal, ellers forholdsvis sammenlignbare feltegenskaper. Stasjonen erstatter 87.3 Teita bru fra 2009. 87.3 Teita bru ble brukt som hydrologisk grunnlag for Innvik kraftverk, nabovassdrag til Storelva i Utvik. Observasjoner fra 1970- d.d. Stasjonen antas som god på flom da der gjort målinger godt over middelflom.

Målestasjon 88.15 Grasdøla, ligger ca. 30 km øst for Storelva. Grasdøla ligger høyere og har en større effektiv sjøprosent enn Storelva. Stasjonen har observasjoner fra 1979, men kun data f.o.m 1998 kan brukes pga. meget tvilsom datakvalitet. Det er gjort mange korreksjoner i dataserien og flomverdiene er usikre (lave verdier). Felthydrolog mener stasjonen har problemer med å registrere flomtoppene pga. stor hastighet ved målestasjonen. Stasjonen er derfor ikke med i videre analyser.

Målestasjon 97.2 Saurevatn lå 45 km nord for Storelva. Målestasjonen var i drift fra 1966-2004. Grunnen til nedleggelse er ikke kjent. 8,7 km^2 av feltet er overført ut, og ved flom kan der være overløp. Vannføringskurven på flom er vurdert som meget dårlig.

Målestasjon 97.5 Sleddalen ligger ca. 40 km nord for Storelva. Målestasjonen er ment å erstatte 97.4 Skjåstad som tidligere lå like oppstrøms der målestasjon Sleddalen står i dag. Sleddalen har vært i kontinuerlig drift siden 1998. Nedbørfeltet er mindre enn Storelva sitt felt og observerte data kan tyde på høyere avrenning sammenlignet med Storelva. Felthydrolog tror imidlertid at vannføringskurven overestimerer vannføringen[1]. Kurven bør anses som midlertidig og kurveusikkerheten er ikke vurdert.

Målestasjon 98.4 Øye ndf. ligger ca.40 km nordøst for Storelva. Målestasjonen har 4 % bre. Målestasjonen har vært i drift siden 1916. Avlesningene fra 1916 til 01.08.1982 ble gjort av lokale observatører, og under flom ble som regel kulminasjonsvannføringen avlest. Data fra perioden 1967-1978 anses dessuten som svært usikre da observatør flere ganger «diktet» opp vst., og ved flere tilfeller der den faktiske vannstanden har blitt avlest har den blitt endret i ettertid. Stasjonen ble flyttet i 1991. Vannføringskurven på flom er vurdert som bra etter 02.10.1990. Vannføringskurven ble sist revidert 11.11.2015. Felthydrolog skal vurdere om det er behov for ny kurve for perioden før 1990.

Andre stasjoner som ble vurdert, men ikke inkludert: 86.4 Gjengedalsvatn (nedlagt, høy eff. sjø), 74.16 Langedalen (for langt øst, høytliggende), 86.7 Bortne (nedlagt, usikre data, for langt vest), 80.4 Ullebøelv (for rask, høy avrenning, langt unna), 84.19 Syngesandselva (for lite felt, usikker data kvalitet), 84.30 Lunde (stor breandel, usikker datakvalitet, høytliggende).

[1] 97.4 Skjåstad har data fra 1966-1998. Datakvaliteten anes som meget usikker; mye korreksjoner og profilendringer på 90-tallet. Dataene samsvarer ikke med 97.5 Sleddalen som gir nesten dobbelt så mye vann som Skjåstad.

3 Flomberegninger

I «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» (Stenius mfl., 2015) er det anbefalt å bruke flere ulike metoder for å sammenligne ulike resultat før et endelig valg av flomverdier tas, og følgelig er det gjort beregninger med formelverk for små nedbørfelt (Glad mfl., 2015) og nedbør-avløpsmodell med ekstremnedbør fra MET, som begge gir kulminasjonsvannføringer. På grunn av begrenset lengde på tidsseriene til vannføringsstasjoner med findata (timesverdier), er frekvensanalysene gjort på døgnmiddelvannføring og kulminasjonsvannføringer er funnet via et anslag på representativt forholdstall, Q_{mom}/Q_{mid}.

Den rasjonale formel er ikke vurdert for Storelva, da den ikke er anbefalt brukt for felt større enn 2-5 km^2 (SVV,2014). Lindholm (2008) anbefaler at formelen ikke benyttes for felt større enn 0,2 -0,5 km^2.

3.1 Estimat fra formelverk

Formelverket for flomberegninger i små felt er utarbeidet for å estimere middelflom og flommer med ulike gjentaksintervall direkte som kulminasjonsverdier for nedbørfelt under ca. 50 km^2 (Glad mfl., 2015).

Formelverket er basert på ett sett med ligninger for hele Norge. En ligning for estimering av middelflommen, Q_M, og en ligning for å beskrive vekstkurven, Q_T/Q_M, (forholdet mellom middelflom og en flom med et vilkårlig gjentaksintervall T).

Middelflommen (Q_M) fås av følgende formel:

$$Q_M = 18.97 Q_N^{0.864} e^{-0.251\sqrt{A_{SE}}} \qquad (1)$$

hvor Q_N er nedbørfeltets middelvannføring (m^3/s) i perioden 1961-90 hentet fra avrenningskartet, A_{SE} er den effektive sjøprosenten (%) og *e* er grunntallet e ≈ 2,718. Middelflommen (Q_M) øker med økende middelvannføring, men minker med økende effektiv sjøprosent (se formel 1).

Vekstkurven (Q_T/Q_M) fås av følgende formel:

$$\frac{Q_T}{Q_M} = 1 + 0.308 \cdot q_N^{-0.137} \left[\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}\right]/k \qquad (2)$$

hvor q_N er middelvannføring (l/s·km^2) i perioden 1961-90 hentet fra avrenningskartet, Γ er gammafunksjonen, T er gjentaksintervall og konstanten *k* gis av:

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

Ligningen (2) viser at økt normalavrenning gir slakere kurve og økt effektiv sjøprosent gir brattere kurve.

Av de to parameterne i formel (1) er det middeltilsiget som er mest usikkert. Denne verdien blir hentet ut fra avrenningskartet og usikkerheten varierer kraftig mellom forskjellige geografiske plasseringer.

Tabell 2 viser at avviket mellom årsmiddelavrenningen Q_N fra avrenningskartet og den observerte årsmiddelavrenningen er forholdsvis stor i området. Avrenningskartet underestimerer avrenningen for deler av området nord for Storelva (97.5 Sleddalen). Avrenningskartet stemmer derimot relativt godt i områdene rett sør og sørvest (86.10 Åvatn og 87.10 Gloppen), også nordøst for Storelva (98.4 Øye ndf.). Avrenningskartet underestimerer avrenningen helt i vest, og for de fleste stasjonene sør for Jostedalsbreen. Flere av stasjonene med signifikant breprosent ser ut til å observere mer vann enn hva avrenningskartet tilsier. I noen tilfeller er dette fordi stasjonene kun har observasjoner fra år etter 1990 og at man i den senere tid har hatt en økende avsmelting fra breene.

Det er vanskelig å bedømme om Storelvas årsmiddelavrenning skal justeres.

Avrenningskartet er utviklet på data fra perioden 1961-1990 og ingen av målestasjonene har data fra hele denne tidsperioden. Avviket mellom Q_N og Q_{obs} kan dermed ikke sammenlignes direkte. Sammenligningsstasjonene har i tillegg svært varierende datakvalitet. Stasjoner med lengre dataserier i nabovassdragene rett øst for Storelva (88.4 Lovatn 88.30 Nordre Oldevatn), og som ikke er representative for analysefeltene og dermed ikke brukt til flomfrekvensanalysene, har god overensstemmelse med avrenningskartet og observert middelavrenning.

Ut fra en samlet vurdering vektlegges ikke avviket mellom Q_N og Q_{obs} videre i analysen.

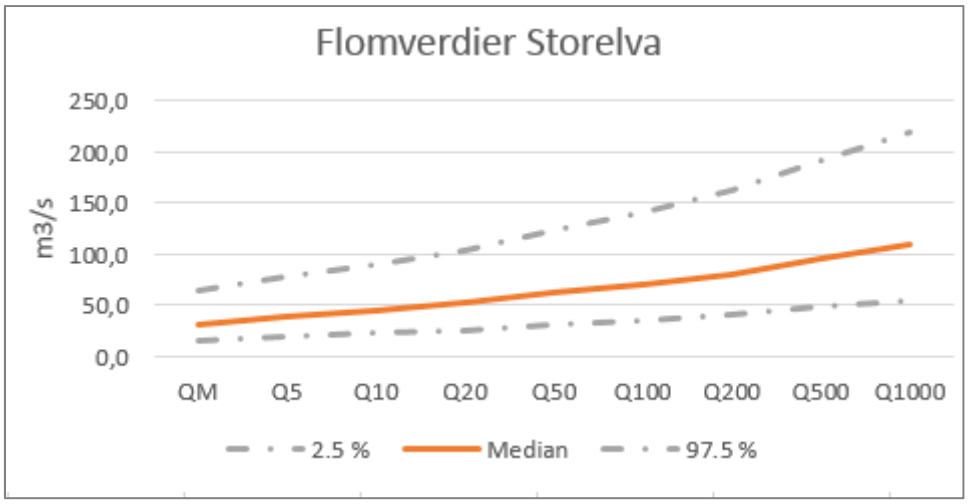
Det er i midlertid testet for en økt årlig avrenning på 20 %, dette øker kulminasjonsvannføringen med ca. 15 %.

Resultatene fra formelverk for alle gjentaksintervall kan ses i Vedlegg 2.

Tabell 3 Resultat fra formelverk for små uregulert felt, kulminasjonsvannføring.

	Areal (km^2)	Q_N ($l/s \cdot km^2$)	**Eff.sjø** (%)	$Q_{M,\ median}$ (m^3/s)	Q_{200} **2,5 % - median – 97,5 %** (m^3/s)	Q_{200} **2,5 % - median – 97,5 %** ($l/s \cdot km^2$)
Storelva	24,7	62,8	0,001	28	35 – 70 – 140	1420 – 2840 – 5681
Storelva	24,7	75,4*	0,001	32	40 – 81 – 162	1638 – 3275 – 6550

*Justert årlig avrenning med 20 %



Figur 3 Flomverdier for analysefeltet med tilhørende usikkerhets bånd (95 % konfidensintervall) estimert med formelverk for små felt (Glad mfl., 2015). Årlig avrenning er ikke korrigert.

3.2 Nedbør – avløpsmodell, PQRUT

Ekstremnedbørdata[2] fra MET for Storelva i Utvik er innhentet; se Vedlegg 3. Det er konstruert et symmetriske forløp rundt den største intensiteten. Nedbørverdiene er arealskalert. Årsverdier[3] er benyttet.

Vedlegg 4. viser feltparametere som er benyttet og beregnede modellparametere (K1, K2 og T) i PQRUT. I Andersen m. fl (1983) er det beskrevet hvordan K1 kan korrigeres hvis nedbørfeltet inneholder spesielt mye snaufjell, noe som er tilfelle for Storelva sitt nedbørfelt (60 % snaufjell). Dersom øvre tømmekonstant, K1, økes med 0,08, bidrar dette til en raskere avrenning. Økning av K1 påvirker også K2, og terskelverdi (T) se Tabell 4. Disse endringene gir ca. 17 % økning på kulminasjonsvannføringen. Initialvannføring er satt til 3 ganger normalvannføring, og full metning av bakken.

Tabell 4 Modellparametre for PQRUT, Storelva i Utvik.

	Ase (%)	**H_L** (år)	**Q_N** (l/s·km^2)	**K_1**	**K_2**	**T**
Storelva	0,001	53,2	62,8	0,271	0,055	18,21
Storelva	0,001	53,2	62,8	0,351	0,072	16,83

Resultat fra nedbør-avløpsmodell vises i Vedlegg 4 (både nedbørforløp og tilhørende vannføring) for hhv. 200-, 500[4]-års nedbør og påregnelig maksnedbør (PMP), se også Tabell 5:

Tabell 5 Resultat fra nedbør-avløpsmodell for ulike gjentaksintervall på nedbør.

	Areal (km^2)	**P_T** (år)	**$Q_{kulminasjon}$** (m^3/s)	**$Q_{døgnmiddel}$** (m^3/s)	Q_{mom}/Q_{mid}[5]	**$Q_{kulminasjon}$** (l/s·km^2)
Storelva oppstr.	24,7	200	104	34	3,1	4216
Storelva oppstr.	24,7	500	117	40	3,0	4723
Storelva oppstr.	24,7	PMP	223	74	3,1	9033

Det er ikke gitt at nedbør med et gitt gjentaksintervall medfører flom med det samme gjentaksintervallet. Nedbørfeltets tilstand (tørt, fuktig) når nedbøren faller har også stor betydning. For eksempel kan en flom med returperiode på 200år forårsakes kun av en nedbørhendelse, P_{200}, eller av nedbør med et mindre gjentaksintervall, men da med en større andel snøsmelting.

Merk at PQRUT-modellen forventes å ha sine svakheter da det ikke finnes vannføringsdata å kalibrere modellen mot, samt at minste mulige tidsskritt er 1 time. For

[2] Forskjellige varigheter for aktuell returperiode, kombineres til et forløp. Dette er i utgangspunktet konservativt ettersom, eksempelvis, en timesnedbør med returperiode på 200 år svært sjelden vil inntreffe i samme nedbørepisode som døgnnedbør på 200år.
[3] Det er sannsynlig at sesongverdier + snøsmeltning vil ha gitt noe høyere verdier.
[4] 500-års gjentaksintervall og PMP er inkludert fordi man ønsker å sammenligne disse verdiene med antatt vannføring i elva 24.juli 2017.
[5] Noe overestimert da ikke hele volumet til flommen blir med over døgnet.

et så raskt felt som Storelva betyr det at reell kulminasjonsverdi kan være høyere enn kulminasjonsverdien basert på timesverdier.

3.3 Flomfrekvensanalyser og regionalt formelverk

Det er utført flomfrekvensanalyser på tidsserier fra de fleste målestasjonene i Tabell 2 (døgnmiddelverdier). Disse er også sammenlignet med regionale flomformler og vekstkurver (Sælthun,1997), selv om disse i utgangspunktet er gyldige for større felt. Middelflom og vekstkurve for analysefeltet er estimert med formelverk for små felt (Glad mfl., 2015). Resultatene er presentert i Tabell 6, fet skrift indikerer at de er vektlagt.

Tabell 6. Flomfrekvensanalyse på årsflommer (døgnmiddel), samt kulminasjonsmiddel og vekstkurve estimert med formelverk for små felt (Glad mfl., 2015).

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km^2	Q_M		Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Fordeling/ kommentar
				l/s•km^2	m^3/s				
75.23 Krokenelv	1965-2016	51	45,9	527	24	**2,1**	**2,4**	**2,7**	GEV-l-mom
77.20 Henjaelvi	2007-2016	10	48,3	588	28	-	-	-	For kort serie
79.3 Nessedalselv	1984-2016	32	30,1	610	18	1,5	1,6	1,7	Gumbel l-mom
86.10 Åvatn	1974-2015	41	162	613	99	1,8	1,9	2,1	Gumbel -l-mom
86.12 Skjerdalselv	1979-2016	37	24	989	23	**2,0**	**2,1**	**2,3**	Gumbel l-mom
87.10 Gloppen v/	1970-2016	46	217,1	621	135	**2,1**	**2,3**	**2,5**	Gumbel l-mom
97.2 Saurevatn	1966-2004	36	46,2	537	25	**2,0**	**2,2**	**2,4**	Gumbel
97.5 Sleddalen	1998-2015	18	9,0	820	7	-	-	-	For kort serie
98.4 Øye ndf.	1916-2015	33	138,0	452	62	**1,8**	**2,0**	**2,2**	GEV-l-mom
Snitt:						1,9	2,1	2,5	
Regionale flomf.:									
K2				567**		1,9	2,1	2,3	
H1				821**		2,2	2,5	2,8	
NIFS formelverk:									
Storelva, median				1113*	27,5*	1,96	2,23	2,55	
Storelva, 97,5 %				2227*	55,0*	1,96	2,23	2,55	

*Kulminasjonsvannføring.

** Flomformlene gjelder for felt > 20 km^2, men bør brukes forsiktig for felt < 100 km^2 (Sælthun, 1997).

Ingen av sammenligningsstasjonene er direkte sammenlignbare med Storelva, og den spesifikke døgnmiddelflomverdien i regionen varierer stort; fra ca. 450-1000 l/s·km^2.

Den største verdien er fra 86.12 Skjerdalselv; opp mot ca. 1000 l/s·km^2. Dette er et meget raskt felt og er nok ikke representativt da det har en betydelig breandel og ligger i et meget nedbørrikt område, godt eksponert for vestaværet.

Sett ut ifra feltegenskaper bør verdi for spesifikk middelflom til dels kunne sammenlignes med, 75.23 Krokenelv, 77.20 Henjaelvi, 79.3 Nessedalselv og 97.2 Saurevatn (tvilsom datakvalitet, mulig spesifikk flom hadde vært større dersom man kunne ha korrigert for overføringen). Disse ligger alle mellom 530-610 l/s·km^2. Man kan vente at Storelva, som har noe mindre areal enn disse, vil ha en noe høyere spesifikk middelflom. Til sammenligning har målestasjonene rett sør for Storelva med vesentlig større areal, verdier like over 600 l/s·km^2. Dette kan forklares med at de også er noe mer utsatt for vestaværet.

Storelva ligger i et område som dekkes av K2 som representerer årsflommer, men også tildels H1 da flere av de største flommen opptrer på høsten/sommeren. K2 og H1 gir Q_{200}/Q_M lik hhv. 2,3 og 2,8.

Lengde på tidsserie og geografisk nærhet, vektlegges mer en feltegenskaper ved valg av representativ vekstkurve. Det er få måleserier med lange tidsserier i området. For mange av sammenligningsstasjonene var det vanskelig å finne representative vekstkurver, da mange fordelinger ga en dårlig tilpasning, samt det i flere tilfeller var stort sprik mellom de ulike fordelingene.

Et snitt av de mest representative (se uthevet skrift i tabell over), viser et forholdstall Q_{200}/Q_T på 2,5. Dette samsvarer med vekstkruven til 87.10 Gloppenelv v/ Bergheim, som også har den lengste tidsserien og ligger nær Storelva. Denne vekstkurven legges dermed til grunn for videre beregninger. Dette gir verdier som ligger noe over den mest representative vekstkurven K2, men godt under H1.

Døgnmiddelvannføring for Storelva blir som vist i Tabell 7.

Tabell 7 Flomvannføring med ulike gjentaksintervall for analysefeltet (døgnmiddelvannføring).

Sted	Areal	Q_M		Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
	km^2	l/s·km^2	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	l/s·km^2	l/s·km^2	l/s·km^2
Frekvensfaktor: Q_T/Q_M				2,1	2,3	2,5	-	-	-
Storelva	24,7	**650**	16,1	33,7	36,9	40,1	1365	1495	1625

Estimert forholdstall mellom kulminasjons- og døgnmiddelflom ut fra regionalt formelverk (Sælthun,1997) er vist i Tabell 8. Det er antatt at høstflommer (regndrevne flommer) vil være størst i dette vassdraget; hhv. Q_{mom}/Q_{mid} på 1,9. Observerte forholdstall for stasjoner i små felt med sammenlignbare feltegenskaper på Vestlandet (Vedlegg 10, Stenius mfl., 2015) antyder lignende verdier som formelverket. Samme kilde viser at observerte forholdstall på 2 eller større finnes bare for felter < 10 km^2 med et par unntak; 84.19 Syngesandselva og 61.8 Kaldåen med hhv. Q_{mom}/Q_{mid} på 2,21 og 2,54.

På bakgrunn av overliggende informasjon settes Q_{mom}/Q_{mid} til 2,0.

Tabell 8 Forholdstall mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring, Q_{mom}/Q_{mid}.

Sted	Areal (km^2)	Eff.sjø (%)	Vårflom, formelverk (Q_{mom}/Q_{mid})	Høstflom, formelverk (Q_{mom}/Q_{mid})	Valgt Forholdstall
Storelva	24,7	0,001	1,5	1,9	2,0

Tabell 9 gir resulterende kulminasjonsvannføringer ved forskjellige gjentaksintervall for analysefeltet basert på frekvensanalyse, nedbør-avløpsmodell sammen med kulminasjonsvannføringer beregnet med NIFS-formelverk:

Tabell 9. Kulminasjonsflommer med ulike gjentaksintervall for analysefeltet.

Sted	Areal	Q_M		Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
	km²	l/s·km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²
Storelva, FFA	24,7	1300	32,5	67	74	80	2730	2990	3250
Storelva, NIFS median	24,7	1113	27,5	54	61	70	2177	2488	2840
Storelva, NIFS 97,5%	24,7	2227	55,0	108	123	140	4354	4975	5681
Storevla, PQRUT*	24,7	-	-	-	-	104	-	-	4216

*Basert på 200-årsnedbør

Ved bruk av regionale vekstkurver, regionale flomformler og formel for Q_{mom}/Q_{mid} får man for ved bruk av K2 og H1 for Q_{200} hvv. 2413 l/skm² og 4351 l/s·km². Merk at flomformlene gjelder for felt > 20 km², og bør brukes forsiktig for felt < 100 km². Disse estimatene er derfor ikke vektlagt tungt i videre vurderinger.

3.4 Endelig valg av flomvannføring, Q_{200}

På grunn av store sprik ved bruk av ulike tilnærminger, settes det en nedre og øvre grense for Q_{200}.

Vurderinger bak nedre estimat:

Resultat fra nedbør-avløpsmodellen viser et vesentlig større forholdstall for Storelva, 3,0 - 3,1 enn verdier beregnet med formelverk, 1,9, (Sælthun,1997) og forholdstall for representative målestasjoner (fra Vedlegg 10 i Veileder for små uregulerte felt), 2,0 -2,5. Forsøk på å etterregne flommen 24.juli, viser at det har vært en meget rask respons på nedbøren og at forholdstallet sannsynligvis er > 3. Det anses som sannsynlig at kulminasjonsvannføringen i realiteten også kan være vesentlig større for så små, raske felt som Storelva enn den kulminasjonsvannføringen man regner som et snitt over 1 time. Forholdstallene fra Vedlegg 10 i Veileder for små uregulerte felt viser forholdstall mellom middelflom med døgnverdier og middelflom med kulminasjonsverdier og disse forholdstallene kan dermed være mindre enn hvis man kun hadde sett på forholdstall Q_{mom}/Q_{mid} for de aller største kulminasjonsflommene. Pågående arbeid (gjennomgang av års største kulminasjonsflom) viser at maks Q_{mom}/Q_{mid} -faktor for flere små felt på Vestlandet [6]er så høye som 4,5-7.9. Gjennomsnittet av Q_{mom}/Q_{mid}-faktor for de samme feltene er vesentlig lavere, da det er stor variasjon i Q_{mom}/Q_{mid} -faktor pga. ulik årsak til flom (snø, intens nedbør) og f.eks tilstand i bakken.

[6]Eks. 61.8 Kaldåen; Maks Q_{mom}/Q_{mid} = 7,9, 84.7 Sægrova; Maks Q_{mom}/Q_{mid} = 7,6, 90.1 Førdeelv; Maks Q_{mom}/Q_{mid} = 6,1, 79.3 Nessedalselv; Maks Q_{mom}/Q_{mid} = 4,7, 62.18 Svartevatn Maks Q_{mom}/Q_{mid} = 4,5.

En samlet vurdering av de ulike tilnærmingene setter derfor forholdstallet mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføring i Storelva til 2,5.

Ved bruk valg av spesifikk døgnmiddelflom på 650 l/s·km^2, tilsvarer dette en kulminasjosmiddelflom på 1625 l/s·km^2. Dette er en verdi som ligger midt mellom NIFS-formelverket sitt medianestimat og 97,5 % -persentil. Sammenlignet med observert middelflom for kulminasjonsvannføringer for noen av de mest representative vannføringsstasjonene , er verdien på 1625 l/s·km^2 i forholdsvis høy.

Med tanke på at ingen av sammenligningsstasjonene har spesielt lange tidsserier er det valgt å bruke vekstkurven fra NIFS formelverket. I «Veileder for flomberegninger for små uregulerte felt» (Stenius mfl., 2015) sies følgende om valg av vekskurve: «*Vekstkurven fra formelverket er robust og lite sensitiv for lokale variasjoner og anbefales derfor som regel som første valg. Dersom det finnes lange tidsserier med god kvalitet (50-100 år eller mer) som vurderes som representative, sammenlign da gjerne vekstkurve fra formelverket med vekstkurve fra data og vurder hva som virker mest sannsynlig. Det kan også lages en kombinasjon av vekstkurve fra formelverk og data*.».

Dette estimatet ligger noe under Q_{200} beregnet med nedbør-avløpsmodell (4216 l/s·km^2), med P_{200} som input i PQRUT.

Vurderinger bak øvre estimat:

Dette er et estimat basert på NIFS-formelverk, og tilsvarer da 97,5 % persentil. Vedlegg 10 i Veileder for flomberegning i små uregulerte felt viser variasjon i flomverdier for ulike landsdeler i Norge. Spesifikke kulminajonsverdier for en 200-års flom på Sør- og Vestlandet varierer fra 700-4000 l/s·km^2. Det finnes også verdier opp mot 6000 l/s·km^2. De høyeste verdiene finner man stort sett i bratte felt med lav effektiv sjøprosent. En spesifikk verdi for Q_{200} på opp mot 5700 l/s·km^2 bør dermed anses som konservativ.

Til sammenligning er høyeste registrerte kulminasjonsvannføring på Vestlandet ved 42.6 Blaklihøl på 4471 l/s·km^2.

Tabell 10. Kulminasjonsflommer med ulike gjentaksintervall for analysefeltet.

Sted	**Areal**	**Q_M**		**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
	km^2	l/s·km^2	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	l/s·km^2	l/s·km^2	l/s·km^2
Nedre estimat, Storelva	24,7	1625	40	78	90	102	3177	3631	4146
Øvre estimat, Storevla	24,7	2227	55	108	123	140	4354	4975	5681

For dimensjonering av sikringstiltak mm. i elva, anbefaler man at **øvre estimat** legges til grunn.

3.5 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer

I (Stenius mfl., 2015) anbefales det et klimapåslag for alle flomberegninger med gjentaksintervall 200 år på minimum 20 % og at det gjøres individuelle vurderinger for om det bør legges til 40 %. Den individuelle vurderingen anbefales gjort med utgangspunkt i Lawrence (2016) og Hanssen Bauer mfl. (2015).

Med utgangspunkt i at man anbefaler et klimapåslag på 40 % på regnskyll med varighet på under 3 timer for Sogn og Fjordane (Klimaprofil, Sogn og Fjordane, 2016), anbefaler man et klimapåslag på 1,4 for kulminasjonsflom i små nedbørfelt med liten selvreguleringsevne. Dette vil da også gjelde Storelva i Utvik, som har et lite felt med rask respons på nedbør (bratt og liten demping).

Det pågår fortsatt forsking for å bestemme klimapåslag for kulminasjonsflommer i små nedbørfelt. Frem til resultatene fra disse prosjektene foreligger anbefales derfor et klimapåslag på 1,4.

Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100) blir dermed som i Tabell 11.

Tabell 11. Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for analysefeltet, kulminasjonsvannføringer, justert med + 40 % som følge av ventede klimaendringer.

Sted	Areal	Q_M		Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
	km²	l/s·km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²
Nedre estimat, Storelva	24,7	2275	56	110	126	143	4448	5083	5804
Øvre estimat, Storevla	24,7	3118	77	151	172	196	6096	6965	7953

4 Flommen 24.juli 2017

Et lavtrykk fra Sverige trakk inn over Norge og genererte kraftige byger med torden i indre strøk av Sogn og Fjordane, og store deler av Midt-Norge i perioden søndag ettermiddag 23. juli til mandag ettermiddag 24.juli. Kald luft la seg over varm luft som skapte ustabile luftmasser og i kombinasjon med luftfuktighet fra fjellområdene ble det dannet kraftig bygenedbør (MET, 2017). 23. juli var en av de varmeste dagene i 2017 i Utvik, og de lokale har beskrevet søndagen som lummer. Fuktigheten var høy og flere tordensystem (2-3stk.) møttes i Utvikområdet søndag kveld og natt til mandag 24.juli.

Informasjon fra lokalbefolkningen, radarbilder, vurderinger fra MET og observasjoner i området viser store sprik og gjenspeiler en stor usikkerhet i hvor store nedbørmengder som kom, hvilken intensitet man hadde, samt hvordan den romlige fordelingen av nedbøren var. Det var stor erosjon og mye løsmasser i elva under flommen. Andel løsmasser i forhold til m^3/s vann er ikke anslått.

Det finnes ingen observasjoner av nedbør eller vannføring i Storelva sitt nedbørfelt.

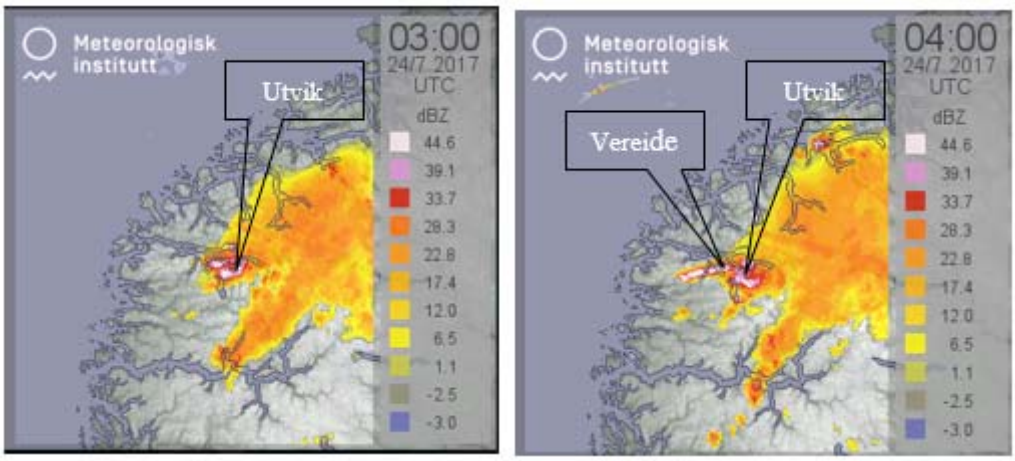
Vurderinger rundt nedbørmengder og radar er basert på MET sin rapport og diskusjon med Bjart Eriksen utviklingsmeteorolog ved MET. Vurderinger og diskusjoner med Oddbjørn Bruland er tatt i betraktning vedr. estimat på vannføring.

Nedbør

Flere lokale har uttalt at man hadde torevær i 12 timer i strekk (ca. fra kl.22 – 10). Dette er ikke ensbetydende med at store deler av nedbørfeltet hadde intensiv nedbør over en så lang periode. Store deler av toreværet lå like sør og øst for Utvikfjellet, i området Breim/Byrkjelo. De lokale oppfatter den mest intensive perioden med nedbør fra ca.kl.5-9, og flere har en oppfatning av at de mest berørte områdene var i fjellområdene sørvest i nedslagsfeltet, Skavegga og Nuken. Dette stemmer godt med radarbildene og befaringer (NTNU-studenter og Oddbjørn Bruland) gjort i etter tid. Befaringene viste også at vannføringen har vært stor for noen av de østlige sideelvene som drenerer fra Blåfjellet. Sideelvene i nordøst, hadde ikke spesielt stor vannføring. Innerste del av nedbørfeltet, Utvikfjellet har ikke hatt like stor nedbørintensitet.

Det er antatt at radarbildene gjenspeiler forholdsvis godt hvor i Storelva sitt nedbørfelt nedbøren var mest intens. På grunn av utfordringer knyttet til topografi vil radarbildene ikke nødvendigvis gjenspeile områder med lite til moderat nedbør. For kvantitative estimat på nedbør via radar, er kvaliteten på radarmålingene fra Utvik dårlige. Dette pga. blokkeringer/hindringer og fordi radaren skyter fra Stadt i en høyde ved Utvik på ca. 2300moh (Utvikfjella 1400-1500moh), noe som er for høyt for å få et godt estimat på nedbøren som lå med skydekke godt under denne høyden. Radarbildene indikerer mye nedbør i tidsrommet kl.21-22 lokalt tid, så en periode med opplett for store deler av nedbørfeltet mellom kl.00-04.00 (Lavere deler, nærmere Utvik sentrum hadde intensiv nedbør fra kl.02.30), før de mest intense periodene mellom kl. 05-07, ellers godt med nedbør helt frem til kl.10-11.

Høyeste observerte timesverdi er ved en Bioforsk stasjon på Tystad på Vereide, ca. 20 km vest for Utvik. Her er det målt 48,6 mm/t (Kl.06-07 lokal tid[7]), og 84mm /24t (kl.08-08). Stasjonen ligger lavt ift Utvikfjella, men generelt sett kan man ikke anta at det regner mer i høyden ved konvektiv nedbør.



Figur 4 Radarbilde fra kl.05 og kl.06 lokal tid. Tidspunkt i radarbildet er i UTC. Rød farge indikerer mer enn 4mm/time.

Figuren over viser radarbilder med de mest intense periodene for nedbørfeltet til Storelva og den mest intense perioden ved Vereide hvor man har observasjoner. Estimatene på nedbørmengder ved Vereide via radar er vesentlig lavere enn hva observasjonene tilsier.

På grunn av manglende observasjonsnettverk i området og dårlig radarmålinger er det vanskelig å anslå intensitet. MET tror ut fra en vurdering av den synoptiske situasjonen og radarbildene at det er realistisk man for deler av nedbørfeltet (fjellområdene) kan ha hatt opp mot 140-150mm/(6+) timer, 80mm/3t (lokalt opp mot 100mm/3t), og en timesintensitet på 45mm/t (lokalt opp mot 65 mm/t[8]). En timesintensitet på opp mot 35-45mm/t anslås som mer realistisk for et større område. Dersom man antar at varigheten på nedbørintensiteten var like lang som feltets konsentrasjonstid oppnår man maks avrenning. Feltets konsentrasjonstid er beregnet til ca. ca.1-2t. Dersom man for ca. *10 km²* bidrar med 65mm/t, er man oppe i ca.180 m^3/s – gitt at all nedbør renner av med en gang uten noen forsinkelse/demping i feltet (ikke realistisk). Hvis f.eks *15km²* bidrar med 45mm/t vil dette tilsvare en vannføring på 188 m^3/s. Dersom *hele feltet* bidrar med nedbørintensitet på hhv. 25mm/t og 45mm/t, er man oppe i 172 og 309 m^3/s.
Til sammenligning gir nedbør- avløpsmodellen (PQRUT) vesentlig lavere kulminasjonsvannføringer med bruk av nedbørverdier som matcher MET sine maks anslag på intensitet, f.eks vil en timesintensitet 65mm/t, 100mm/3t og 130mm/6t over hele feltet (25km²) gi ca.180 m^3/s. Med timesintensitet på 45mm/t, 80mm/3t og 110mm/6t blir kulminasjonsvannføring på 136 m^3/s (kan da sammenlignes med overnevnte verdi på 309 m^3/s). Tømmekonstanten er justert/økt for at feltet skal respondere raskere. På grunn av kun tilgang på en modell med minste tidsskritt 1 time, vil det være vanskelig å få en realistisk kulminasjonsvannføring, da det antas stor forskjell i

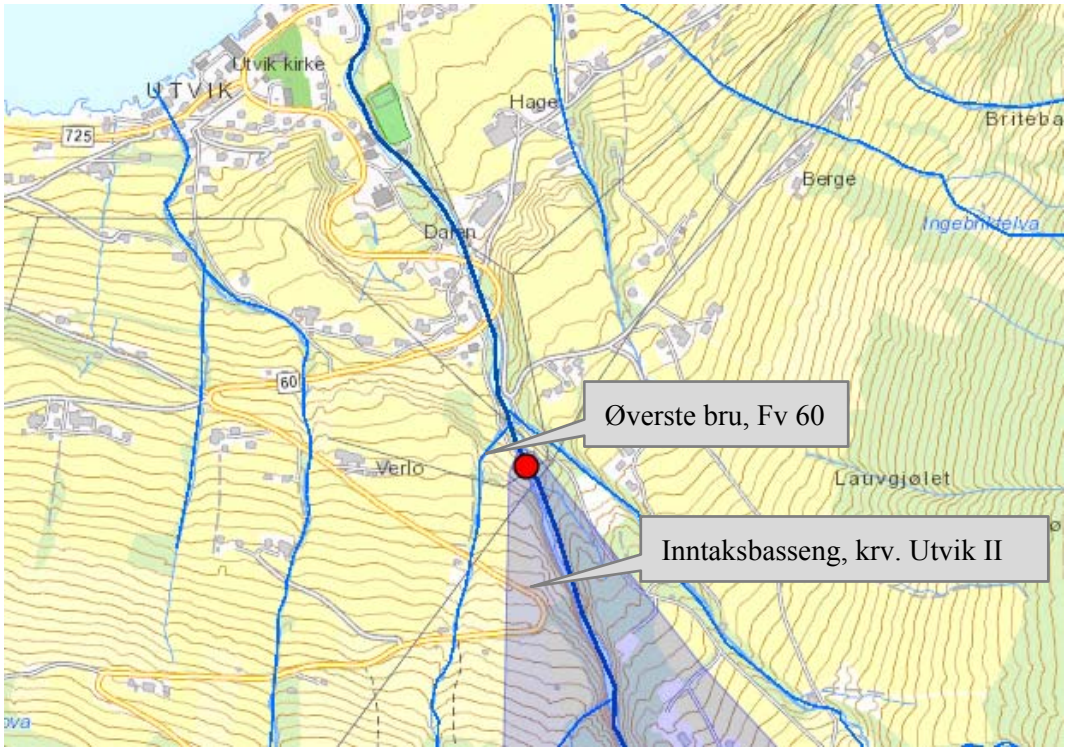
[7] NB; På Bioforsk sine sider er timesverdier et gjennomsnittlig eller aggregert verdi for den første timen ***etter*** oppgitt måletidspunkt.
[8] F.eks så vet man ikke hvor lang varighet den mest intense nedbøren hadde. Antar man at det som er observert ved Vereide kom på 45min. så tilsvarer dette en timesintensitet på opp mot 65 mm/s.

vannføringen gjennom en time for et lite, raskt felt som Storelva. Initialvannføringen er satt noe høyere pga. antatt forholdsvis stor vannføring pga. snøsmelting for de deler som hadde snø i forkant.

Vannføring

Det er **stor usikkerhet** knyttet til estimat på kulminasjonsvannføring i Storelva 24. juli.

Flere overslagsberegninger antyder at kulminasjonsvannføringen den 24. juli ligger mellom 170-250 m^3/s (Ca. 6800-10 000 $l/s \cdot km^2$) i Storelva. Noen av disse overslagene blir kort omtalt i påfølgende avsnitt. Ut fra bilder og kontakt med lokalbefolkningen er det anslått at vannføringen var på sitt største mellom kl. 08.30-09.30 lokal tid.



Figur 5 Oversiktskart, nedre del av Storelva; inntaksbasseng til Utvik II er markert i rødt.

Ved inntaksbassenget til Utvik II i Storevla utgjør nedbørfeltet ca. 90 % av det totale nedbørfeltet ved øverste bru ved fv60, se Figur 5. Det kommer inn to sideelver rett nedstrøms inntaksbassenget. Det er sannsynlig at bekk fra vestlig side hadde stor vannføring 24. juli, mens bekken fra øst bidro vesentlig mindre. Med en vannføring på eksempelvis 200 m^3/s ved inntaksbassenget, man må ilegge ytterlig 10-20 m^3/s for å få total vannføring ved pkt. rett oppstrøms øverste bru ved fv 4.

<u>Alt a) Kulminasjonsvannføring ved inntaksdammen, Hec-Ras</u>

Det ble målt inn en antatt flomvannstand (Oddbjørn Bruland/ NTNU-studenter, 21.sept. 2017; og i to runder av NVE, siste av Ivar Fivelstad i okt. 2017). Flomvannstanden varier fra 2,4 til 2,7 m over terskelhøyde til inntaksdammen. NVE har etablert en hydraulisk modell (Hec-Ras) for denne delen av elva, som ved antatt flomvannstand på 2,7m over terskel tilsvarer en vannføring på mellom 160 – 200 m^3/s. Variasjonen i vannføring

gjenspeiler ulike kombinasjoner av overløpskoeffisient (1,6-1,9)[9]. Overløpskoeffisienten blir vesentlig redusert på grunn av minimal terskelhøyde (avstand fra bunn oppstrøms terskel og opp til terskelkant), jamfør Retningslinjer for flomløp (NVE, 2005). Dette fordi man antar at inntaksdammen ble fylt opp av masser før flomtopp, se Figur 6. Det anses derfor som mest sannsynlig at overløpskoeffisienten er mellom 1,6-1,7. Ved innmålt flomvannstand på 2,7 og overløpskoeffisient på 1,7 blir vannføringen eksempelvis 170 m^3/s.

Figur 6 Inntaksdam ved Utvik II. Bildet hentet fra Multiconsults rapport (Multiconsult – Løsmasser Utvik, 2017).

Usikkerheten i modellresultatene bør ses på som store pga. mangel på kalibreringsdata (vannføring + vannstand), usikkerhet i antatt flomvannstand, usikker kvalitet på terrengdata, effekten av erosjonen og transport av løsmasser under flommen og kompliserte strømningsforhold ved innløpet til inntaksbassenget.

Alt b) Kulminasjonsvannføring i elvekanalen, rett oppstrøms inntaksbassenget

Like oppstrøms selve inntaksbassenget renner elva i en klar definert elvekanal. Fjell på begge sider, se Figur 7. Her er det også innmålt en antatt flomvannstand (Bredde ved tilhørende profil; 3,8m, dybde 4,3m).

[9] Eks. Overløpskoeffisient på 1,9 og 200 m^3/s gir en vannstand på 2,72 m; overløpskoeffisient på 1,6 og 150 m^3/s, gir en vannstand på 2,65 m over terskel.

Figur 7 Bilde til venstre viser aktuelt tverrsnitt i elvekanal, sett fra nedstrøms side. Bildet til høyre, samme tverrsnitt sett fra oppstrøms side (Foto: NVE)

Ved bruk av Mannings formel her får man vannføringer mellom 160-240 m^3/s, som gir tilhørende vannhastigheter på opp mot 10-15 m/s. Variasjonen gjenspeiler variasjon i Manningstall. Vassdragshåndboka anbefaler Manningstall mellom 30-40 for bekker/elver (mindre 30m brede) som er rette, rene, uten kulper og med full vannføring. På grunn av stor transport av løsmasse, antas verdiene noe lavere. M=20 og M=30 benyttes i estimatene. Hastighet på opp mot 15 m/s vurderes som vel høyt.

Flere bruer i elva hadde ikke stor nok kapasitet til de store vannmengdene. Ved å anta en effektiv lysåpning (redusert fra opprinnelig kapasitet pga. sediment) under et par av bruene, sammen med antatt vannhastighet opp mot 5 m/s, gir dette en vannføring på >200 m^3/s.

Konklusjon, kulminasjonsvannføring 24. juli

Antatt spenn på kulminasjonsvannføring er 170-250 m^3/s. Verdier over 250 m^3/s virker for høye hvis man tror at flomvannstanden ved inntaksmagasinet ligger mellom 2,4 og 2,7. Vannføring over disse estimatene virker også høye dersom man tar i betraktning hvilke estimat som er gjort på nedbør.

Anslaget på kulminasjonsvannføring kan anslås med større sikkerhet dersom det gjøres flere typer analyser (f.eks mer feltarbeid -> grundigere vurderinger av nedbørforløp for ulike deler av nedbørfeltet og inkl. dette i en 2D-modell ved å kjøre antatt nedbør for delfelt og i tillegg inkludere en rutine i modellen som tar hensyn til erosjon og sedimenttransport). NTNU har en masterstudent som skal se grundigere på hendelsen den 24,juli. Arbeidet vil forhåpentligvis bidra til å gi et enda bedre estimat på hvilken kulminasjonsvannføring man hadde for ulike deler av nedbørfeltet den 24.juli.

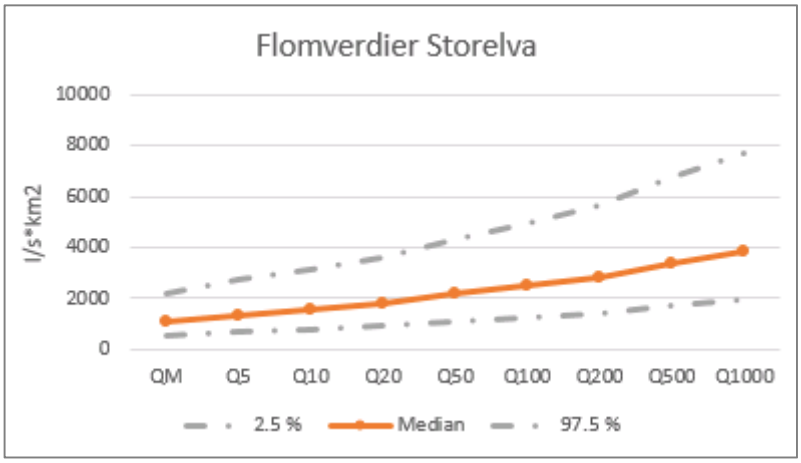
I dagens klima tilsvarer flommen den 24.juli et gjentaksintervall mellom ca. 300 og 1000+ - årsflom. I et fremtidig klima tilsvarer dette en flom et sted mellom ca.100 og 500-årsflom.

5 Usikkerhet

Det er en hel del usikkerhet knyttet til frekvensanalyser av flomvannføringer. De observasjoner som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven, men disse direkte målingene er ofte ikke utført på store flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstander og vannføringer, det betyr at også ”observerte” flomvannføringer inneholder en stor grad av usikkerhet. Andre kilder til usikkerhet er bruk av døgnmiddelverdier og mangel på lange findataserier.

Ved bruk av nedbør-avløpsmodell er det knyttet usikkerhet både til inngangsdata (nedbør) og modellens simulering av flomvannføring og da spesielt kulminasjonsvannføringen i små, raske felt. Siden det kun er et fåtall av de eksisterende nedbørstasjonene som observerer korttidsnedbør og som har måleserier som er lengre enn 25 år medfører dette stor usikkerhet knyttet til de høyeste returnivåene (eks. 200års-nedbøren).

I følge Glad mfl. (2015) fås usikkerheten ved bruk av formelverket for små felt for henholdsvis lave (< 100 år) og høye gjentaksintervall (> 100 år) ved å multiplisere eller dividere med henholdsvis ca. 1,8 og ca. 2,0 med et 95 % konfidensintervall. For analysefeltene blir da flomestimatene med tilhørende 95 % konfidensintervall som i figur 3. Med andre ord ventes 200-års flommen å ligge et sted mellom 1420 og 5680 l/s·km^2 for Storelva med et 95 % konfidensintervall.



Figur 8. Flomverdier for analysefeltene med tilhørende usikkerhets bånd (95 % konfidensintervall) estimert med formelverk for små felt (Glad mfl., 2015).

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. I «Veileder for flomberegninger i små felt» (Stenius mfl. 2015) er det beskrevet en tilnærming for å klassifisere flomberegningen og det tilgjengelige hydrologiske datagrunnlaget. Ut fra metoden beskrevet i Stenius mfl. (2015) vurderes størrelsen på usikkerheten til flomberegningen for Storelva til **stor** «Brukbart hydrologisk datagrunnlag, i kombinasjon med store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området».

6 Referanser

Andersen, A.S, Moxnes, E.,Eriksen,B. Rapport om nedbørepisoden 23.-24. juli 2017.

Glad. P. A., Reitan. T. og Stenius. S. 2015: Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt. NVE Rapport nr. 8-15. www.nve.no.

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

Lawrence, D. (2016). Klimaendring og fremtidige flommer i Norge, NVE Rapport Nr. 81-2016.

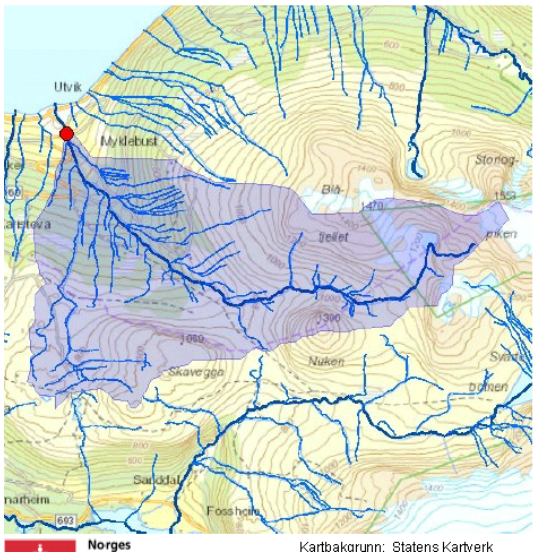
NVE (2005). Retningslinjer for flomløp.

Stenius, S., Glad, P.A., Wang, T. K., Væringstad T. (2015): Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE Veileder 7-2015.

Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og Roald, L. A. (1997). Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE Rapport nr. 14 – 1997.

Vedlegg

Vedlegg 1: Nedbørfelt med feltkarakteristika for Storelva i Utvik.



Lavvannskart

Vassdragsnr.:	087.4Z
Kommune:	Stryn
Fylke:	Sogn og Fjordane
Vassdrag:	STORELVA

Vannføringsindeks, se merknader		
Middelvannføring (61-90)	-999,0	l/(s*km²)
Alminnelig lavvannføring	5,0	l/(s*km²)
5-persentil (hele året)	4,9	l/(s*km²)
5-persentil (1/5-30/9)	20,4	l/(s*km²)
5-persentil (1/10-30/4)	4,1	l/(s*km²)
Base flow	-999,0	l/(s*km²)
BFI	0,5	

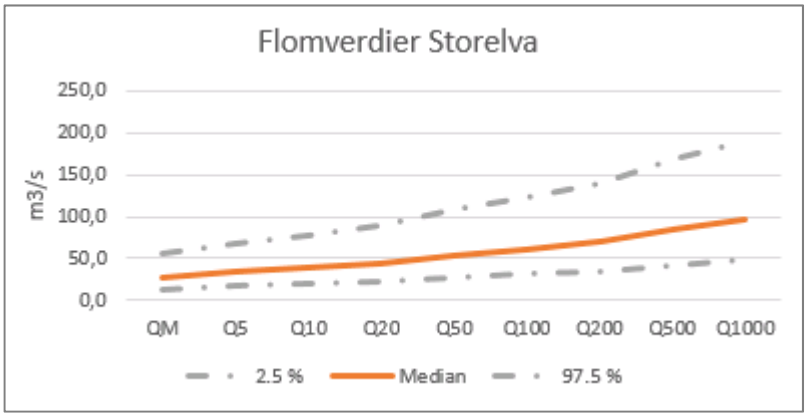
Klima		
Klimaregion		Vest
Årsnedbør	1348	mm
Sommernedbør	487	mm
Vinternedbør	861	mm
Årstemperatur	2,3	°C
Sommertemperatur	6,6	°C
Vintertemperatur	-0,9	°C
Temperatur Juli	8,5	°C
Temperatur August	8,5	°C

Feltparametere	
Areal (A)	24,7 km²
Effektiv sjø (S_{eff})	0,0 %
Elvelengde (E_L)	10,6 km
Elvegradient (E_G)	124,5 m/km
Elvegradient$_{1085}$ (G_{1085})	120,0 m/km
Feltlengde(F_L)	8,2 km
H_{min}	59 moh.
H_{10}	442 moh.
H_{20}	592 moh.
H_{30}	708 moh.
H_{40}	780 moh.
H_{50}	843 moh.
H_{60}	945 moh.
H_{70}	1025 moh.
H_{80}	1148 moh.
H_{90}	1275 moh.
H_{max}	1549 moh.
Bre	3,2 %
Dyrket mark	0,9 %
Myr	4,5 %
Sjø	0,6 %
Skog	25,2 %
Snaufjell	61,9 %
Urban	0,0 %

1) Verdien er redifert

Vedlegg 2: Resultat fra formelverk

	m3/s			
QT/QM		2.5 %	Median	97.5 %
-	QM	13,8	27,5	55,0
1,22	Q5	16,8	33,5	67,1
1,42	Q10	19,5	39,1	78,1
1,63	Q20	22,5	45,0	89,9
1,96	**Q50**	**26,9**	**53,8**	**107,5**
2,23	**Q100**	**30,7**	**61,4**	**122,9**
2,55	**Q200**	**35,1**	**70,2**	**140,3**
3,04	Q500	41,8	83,6	167,2
3,47	Q1000	47,7	95,4	190,9



Vedlegg 3:Link: Påregnelig ekstremnedbør, for Utvik, MET.

4. 1) Årsverdi:

Antall timer (n)	1	2	6	12	24	72	96	120	144	168	192
n timer / 24 timer	0,31	0,39	0,6	0,77	1	1,48	1,69	1,88	2,05	2,21	2,36
M10 (mm)	30	35	55	70	90	135	150	170	185	200	210
M25 (mm)	35	40	65	80	105	155	175	195	215	230	250
M50 (mm)	35	45	70	90	115	170	195	215	235	255	270
M100 (mm)	40	50	75	95	125	185	210	235	255	275	295
M200 (mm)	45	55	85	110	140	205	235	265	285	310	330
M500 (mm)	50	65	100	125	165	245	280	310	340	365	390
M1000 (mm)	55	70	110	140	180	265	305	340	370	400	425
PMP (mm)	95	115	180	230	300	445	505	565	615	665	710

ANTALL TIMER:	1	2	6	12	24	72	96	120	144	168	192
ARF (25 kv.km.)	0,87	0,9	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99

Vedlegg 4: Benyttede feltparametre og beregnede modellparametre for PQRUT.

Modellkalibrering

Areal A
24.7

Effektiv sjøprosent (%) A_{SE}
0.001

Hypsografisk kurve (m) H75
1087

Hypsografisk kurve (m) H25
650

Høydeforskjell
H75 - H25 = 437.00 m

Normal avløp (l/s*km2) Q_N
62

Feltaksens lengde (km) L_F
8.2

Relief forhold
H50 / L_F = 53.29 m/km

Kalibrer

Øvre tømmekonstant K1
0.3512

Nedre tømmekonstant K2
0.0716

Terskelverdi T
16.83

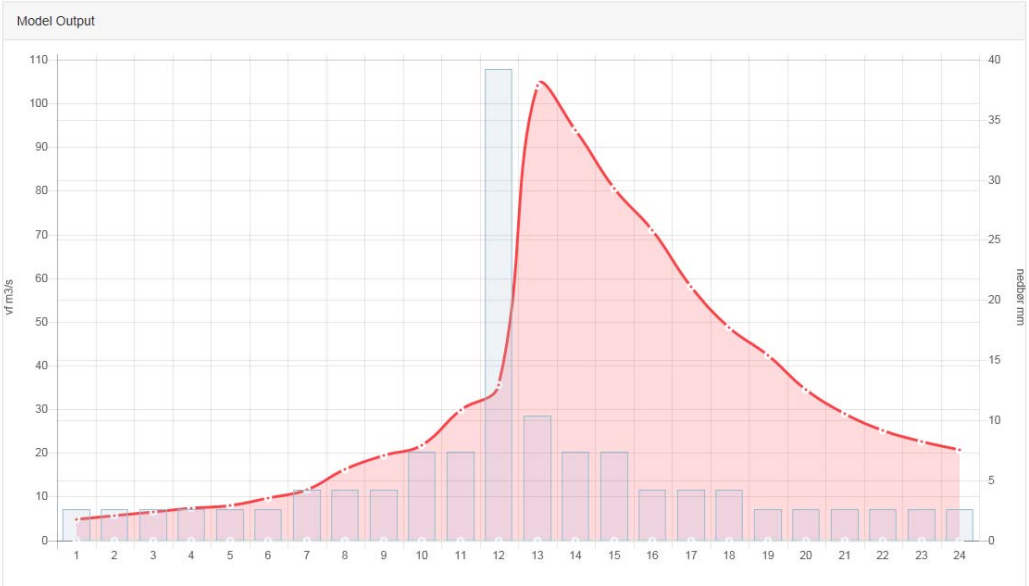
Modellparametre

Konsentrasjonstid (t) tc	Perkolasjon (mm/hr) Perc	Tømming nedre (mm/hr) klz
1	0.0025	0.00042
Feltkapasitet (mm) fc	**Innsjøprosent (%) lp**	**Fordampning (mm/døgn) epot**
150	0	2

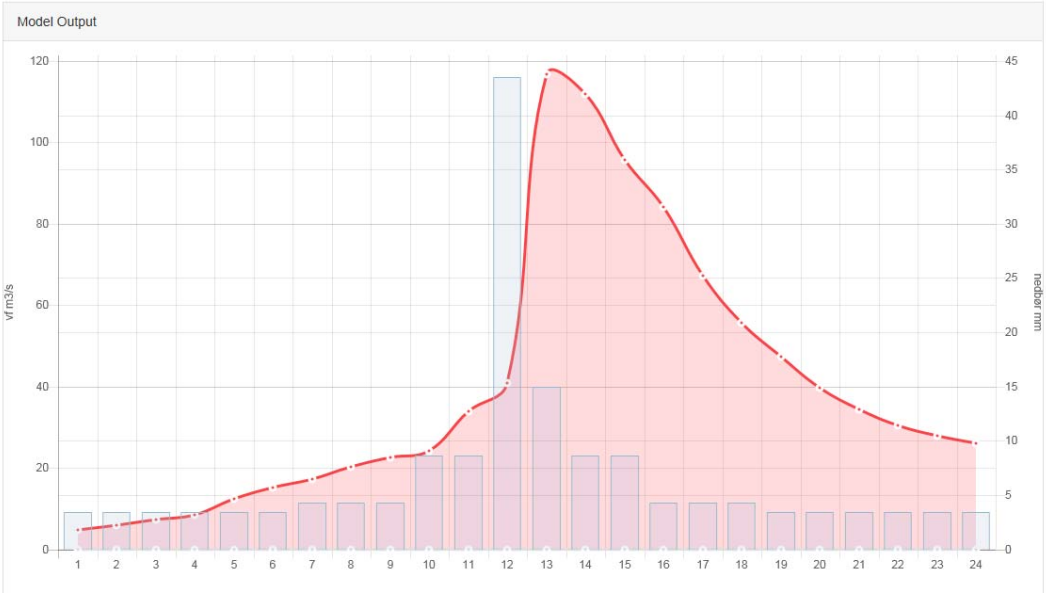
Starttilstander

Markfuktighet (%) sm	Q start (m3/s)
100	4.7

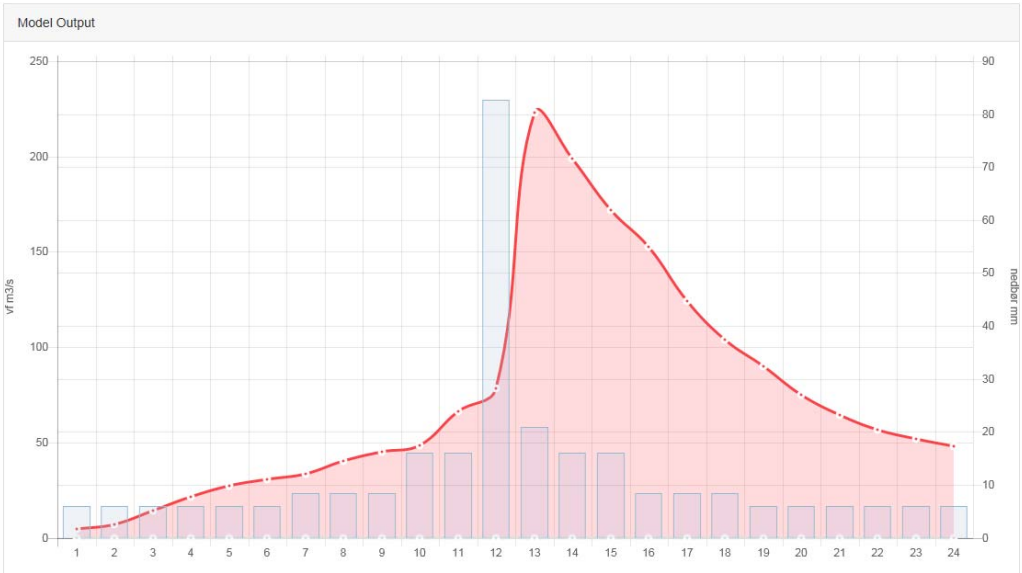
Vedlegg 5a.: P200 (Årsnedbør); nedbør- og vannføring for Storelva oppstrøms bru. Kulminasjonsvannføring 104 m^3/s. PQRUT: Link, P200. Modellparametere: K1, K2 og T er justert.



Vedlegg 5b: P500 (Årsnedbør); nedbør- og vannføring for Storelva oppstrøms bru.. Kulminasjonsvannføring 117 m^3/s. Link, P500. Modellparametere: K1, K2 og T er justert.



Vedlegg 5c. : PMP (Årsnedbør); nedbør- og vannføring for Storelva oppstrøms bru. Oppjustert K1. Kulminasjonsvannføring 223 m^3/s. PQRUT: Link, PMP.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no