Flomberegning for Verdalselv (127.Z)

Revidert versjon

Ann-Live Øye Leine

22
2017

RAPPORT

Rapport nr 22-2017
Flomberegning for Verdalselv (127.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Ann-Live Øye Leine

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 10
Forsidefoto: 127.13 Dillfoss (Foto:NVE)
ISBN 978-82-410-1574-8
ISSN 1501-2832

Sammendrag: I forbindelse med at flomsonekartet for Verdalselv skal revideres, er det behov for oppdaterte flomberegninger som danner grunnlag for vannlinjeberegninger. Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for nøkkelpunkter i vassdraget.

Emneord: Verdalselv, Verdalsøra, Inna, flomvannføring

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, revidert versjon

Innhold

Innhold 1
Forord 2
Sammendrag 3
1. Beskrivelse av oppgaven 5
2. Beskrivelse av vassdraget 6
2.2 Reguleringer i vassdraget 7
2.3 Karakteristiske vannføringer 8
3. Hydrometriske stasjoner 10
4. Beregning av flomverdier 13
4.1. Flomfrekvensanalyser – valg av vekstkurve 13
4.2. Beregning av middelflom 17
4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring 19
4.4 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer 22
5. Observerte flommer 23
6. Sammenligning med andre flomberegninger 24
7. Samløpsproblematikk 26
8. Usikkerhet 28
Referanser 30
Vedlegg 31

Forord

Flomsonekartlegging er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Beregning av flomvannføringer på flomutsatte elvestrekninger er en del av dette arbeidet. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer som blant annet benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med at det er behov for oppdaterte flomsonekart for Verdalsøra. Rapporten er utarbeidet av Ann-Live Øye Leine og kvalitetskontrollert av Thomas Væringstad. Arbeidet ble utført i desember 2016.

Rapporten ble revidert i mars 2017 pga. endring i klimapåslag.

Oslo, mars 2017.

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for Verdalsøra omfatter 5 beregningspunkt i Verdalselva og et pkt. i sideelva, Inna. Alle beregningspunktene ligger i Verdal kommune i Nord-Trøndelag. Verdalsvassdraget har utløp langt nord i Trondheimsfjorden ved Verdalsøra, og strekker seg inn i fjellpartiene østover mot riksgrensa. De østligste delene av vassdraget ligger på svensk side.

Store flommer kan forekommer hele året. Flommene i mai og juni er smelteflommer, ellers har man flere store regnflommer gjennom høsten og vinteren, hvor de aller største flommene gjerne er en kombinasjon av snøsmelting og regn. Største observerte flom skjedde vinteren i 2006, hvor man opplevde betydelige skader i vassdraget.

Vassdraget kan i flomsammenheng anses som uregulert. Flomberegningen er basert på frekvensanalyser av observerte flommer ved målestasjoner i vassdraget og regionale flomformler. Det er beregnet kulminasjonsvannføring for ulike gjentaksintervall.

Resultatene av beregningene ble (for spesifikke verdier, se kap.4):

Tabell 1 Flomverdier i Verdalsvassdraget for de ulike beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Verdalselv, v/ 127.6 Grunnfoss	394	479	564	651	775	879	996	1167	1315
Verdalselv, oppstr. saml. m/Inna	397	483	568	656	781	886	1003	1176	1325
Inna	230	280	329	380	453	514	582	682	768
Verdalselv, nedstr. saml. m/Inna	600	729	858	990	1179	1338	1515	1776	2001
Verdalselv, ved Ekle	610	741	872	1006	1198	1360	1540	1805	2034
Verdalselv, ved Verdalsøra	612	744	876	1010	1203	1365	1546	1812	2042

Anbefalt klimapåslag for Verdalselva er på 0 %.

Flommer i de to hovedgreinene i vassdraget, Verdalselv/Helgåa og Inna, kulminerer innenfor samme døgn, og som regel kulminerer bare Inna en til fire timer før Verdalselv. Dette har betydning for beregning av sammenhørende flomvannføringer i Verdalselv ved samløpet. Resultatene fås i kap.7.

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig det å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Det er stor variasjon på kvaliteten på flomvannføringene ved de ulike målestasjonene som er brukt i analysen, og man har ikke lange nok dataserier for å gi sikre estimat på flommer med gjentaksintervall over 50år.

Det at det finnes målestasjoner både i hovedelva og i sidevassdragene hvor man skal gjøre beregninger for, er sjeldent godt og det hydrologiske grunnlaget for flomberegningen vurderes dermed til klasse 1, på en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer

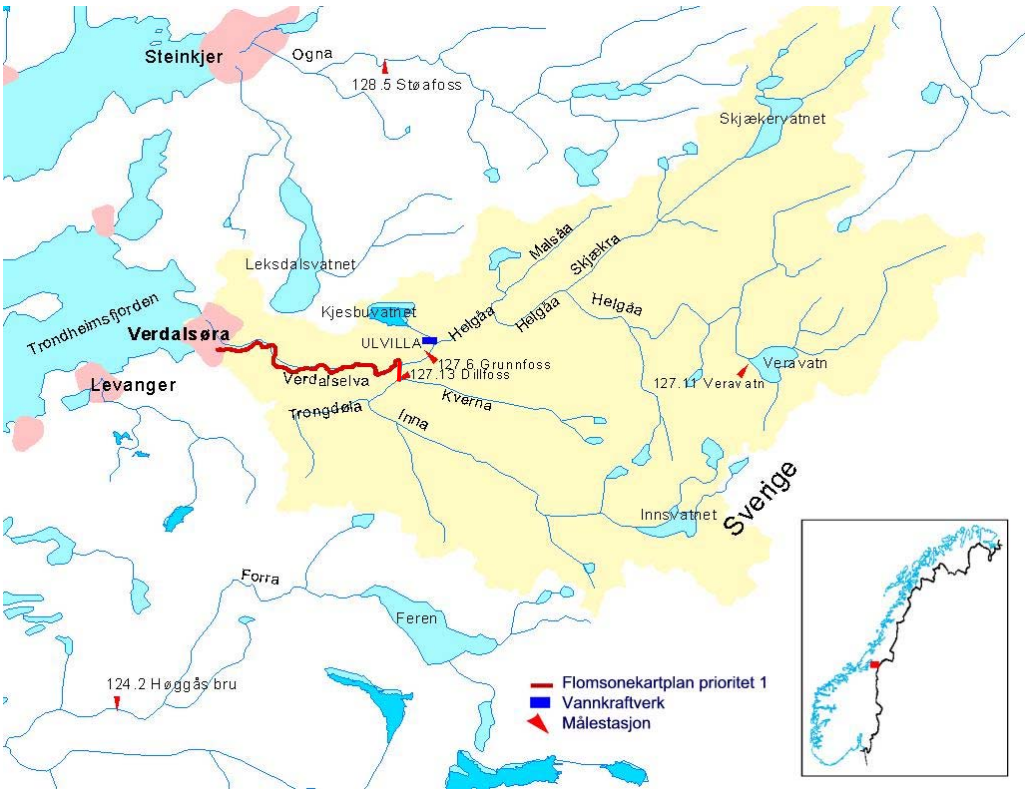
beste klasse. Det at det hydrologiske grunnlaget tilhører beste klasse, er *ikke* ensbetydende med at det er liten usikkerhet i flomstørrelser med høye gjentaksintervall.

1. Beskrivelse av oppgaven

I 2002 gjorde NVE en flomberegning (Drageset, 2002) som la grunnlag for flomsonekartlegging for Verdalsøra (Larsen og Sæter, 2004). På grunn av tilgang på lengre måleserier, og at man i 2006 fikk registrert den største flommen siden man startet observasjoner i Verdalselv, er det bestemt at flomberegningene skal revideres. Beregningspunktene fra 2002 opprettholdes.

Kart over nedbørfeltet som inngår i analyseområdet er vist i Figur 1, sammen med strekningene som er aktuelle i forbindelse med revisjon av flomsonekartplaner. Beregningspunktene fra 2002 skal også benyttes for de nye beregningene.

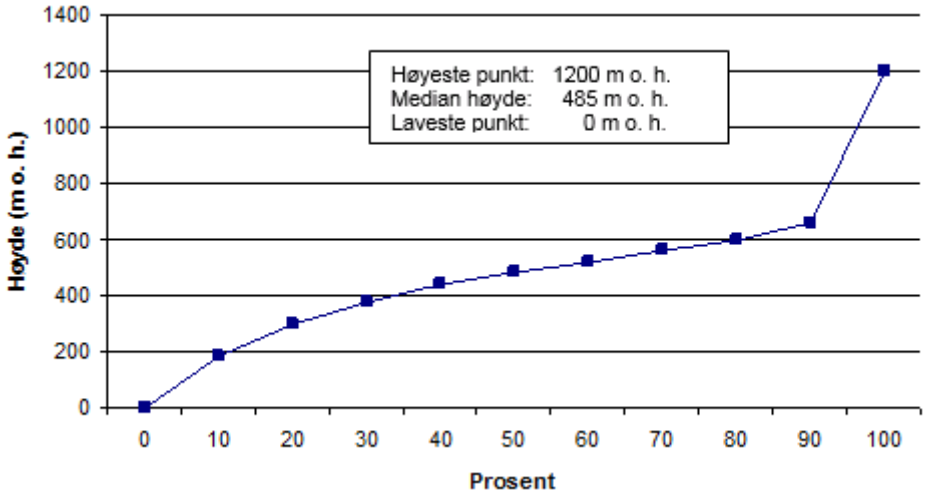
Som grunnlag for arbeidet med hydraulisk modell i Verdalselva skal normalvannføring, middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år beregnes for de aktuelle elvestrekningene.



Figur 1. Kart over analyseområdet sitt nedbørfelt, Verdalselva. Strekningene som skal flomsonekartlegges er tegnet inn med rødt.

2. Beskrivelse av vassdraget

Verdalsvassdraget har utløp langt nord i Trondheimsfjorden, og strekker seg inn i fjellpartiene østover mot svenskegrensa. Vassdraget har således sitt utspring i grensefjellene mot Sverige, og deler av vassdraget strekker seg så vidt inn i Sverige. Nedbørfeltet har totalt feltareal på 1471 km^2, og strekker seg fra havnivå til 1200 moh., se Figur 2. Vassdraget har beliggenhet i Verdal kommune, men området omkring Skjækervatnet når også noe inn i Steinkjer og Snåsa kommune. Østgrensa går opp i Skjækerfjellet på svensk side. Verdalsvassdraget består av to hovedgrener, Inna og Verdalselv/Helgåa, som løper sammen ved tettstedet Vuku. Helgåa går over i Verdalselv ved Ulvilla. Verdalsvassdraget er det største uregulerte vassdraget som strekker seg fra fjord til fjell i Trøndelag. Det finnes i dag ett lite kraftverk i Verdalsvassdraget, Ulvilla kraftverk. Kraftverket har et lite magasin, Kjesbuvatnet, i sideelva Ulvillebekken. Kraftverket har ikke praktisk betydning for flomvannføringen i Verdalselv. Vassdraget er plassert i Samlet Plan kategori I.



Figur 2. Hypsografisk kurve for Verdalselva. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som er over en gitt høyde.

Helgåa har et nedbørfelt på 870 km^2 der den går over i hovedelva Verdalselv nedstrøms tilløpet fra Ulvillebekken, ca. 25 km fra utløpet i fjorden. Elva har sitt utspring i Veravatn (360 moh.) like ved svenskegrensa. Helgådalen er en frodig jordbruksdal med til dels mektige løsmasseavsetninger som elva har gravd seg ned i. Elva er rolig, bred og noe meandrerende, men har også flere store fossefall og stryk i sitt løp vestover.

Største sideelv til Helgåa er Skjækra, med et nedbørfelt på 242 km^2 med utspring i Skjækervatnet (440 moh.). I fjellområdene har Skjækerfjella flere markante topper på mer enn 1000 moh. I de øvre deler har Skjækerelva stort sett et rolig løp sørvestover. Lenger ned faller den til dels kraftig til den munner ut i Helgåa like nedenfor Skjækerfossen. Skjækra er et vernet vassdrag.

I Helgåa rett nedstrøms samløpet med Skjækra er det en stor foss, Granfossen. Helgådalen nedenfor Granfossen er sterkt preget av elveerosjon. Ved Grunnfossen, i Verdalselv rett nedstrøms tilløp fra Ulvilla, ligger NVEs hydrometriske målestasjon 127.6 Grunnfoss. Helgådalen og Verdalen har vært sterkt utsatt for flom- og erosjonsskader så vel langs hovedvassdraget som langs sideelver og bekker. Erosjon har utløst større og mindre ras. Mest kjent er Verdalsraset som gikk langs Follobekken 19. mai 1893. Hele Follogrenda og Jermstadgrenda raste ut, og 112 mennesker mistet livet. Mindre kjent er en annen naturkatastrofe, utløst av erosjon, som rammet dalføret 12. september samme år, da Helgåa tok nytt løp forbi Hærfossen. Som følge av dette har store jordbruksarealer gått tapt på grunn av tilbakeskridende erosjon. Det er senere utført omfattende sikringstiltak mot flom, erosjon og ras i vassdraget.

Inna renner ut i Verdalselv ved tettstedet Vuku ca. 20 km fra Verdalsøra, og har et nedbørfelt på 481 km^2. Vassdraget har sitt utspring i grensetraktene mot Sverige, i hovedsak fra Innsvatn (415 moh.) og Kråksjøen (551 moh.) ved svenskegrensa. Nedbørfeltet ligger stort sett under 800 moh. Elvestrekningen nedstrøms Innsvatn har mange fossefall. Sidevassdraget Kverna på nordsiden renner ut i Inna ca. 1,5 km før Innas samløp med Verdalselv. Like før utløpet i hovedelva danner Inna en stor foss, Dillfossen. Ved Dillfoss ligger NTEs (Nord-Trøndelag E-verks) hydrometriske stasjon 127.13 Dillfoss.

Aktuelle feltparametere for beregningspunktene er oppsummert i Tabell 2.

Normalavløpet for vassdraget er beregnet ut fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE, 2002) og gir en midlere spesifikk avrenning på 38,5 $l/s \cdot km^2$ ved Verdalsøra. Årsmiddelavrenningen varierer innenfor vassdraget fra 20 l/skm^2 i de lavereliggende områdene omkring Verdalsøra til omkring 55 l/skm^2 i de høyereliggende områdene i Skjækerfjella og området omkring Hyllfjellet og Drivsjøfjellet innerst i Kverndalen og Inndalen. Avrenningskartet har en usikkerhet på ± 20 % og øker i alminnelighet for små arealer.

Tabell 2. Feltparametere for beregningspunkter i Verdalsvassdraget inkl. normalavrenningen. .

Beregningspunkter	Feltareal (km^2)	Eff. sjø (%)	Q_N** ($l/s \cdot km^2$)	Q_N (m^3/s)	H_{50} (moh.)	Feltlengde (km)
Verdalselv, v/ 127.6 Grunnfoss	879	0,3	43,0	38	500	47
Verdalselv, oppstr. saml. m/Inna	894	0,3	42,7	38	497	50
Inna	484	0,2	34,4	17	507	34
Verdalselv, nedstr. saml. m/Inna	1377	0,1	39,8	55	500	50
Verdalselv, ved Ekle	1444	0,1	38,8	56	492	57
Verdalselv, ved Verdalsøra	1467	0,1	38,5	56	489	62

** Avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990.

2.2 Reguleringer i vassdraget

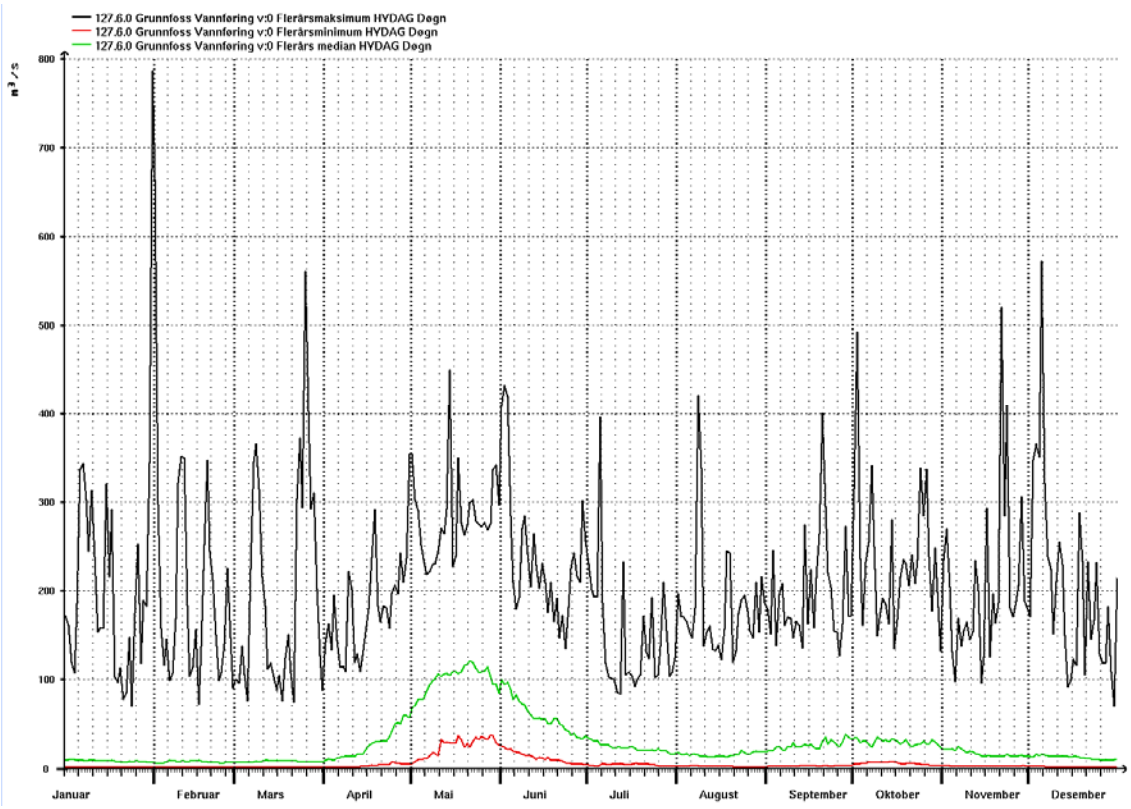
Det finnes i dag ett lite kraftverk i Verdalsvassdraget, Ulvilla, tilknyttet et lite magasin, Kjesbuvatnet, i sideelva Ulvillbekken. Ulvillbekken renner inn i hovedelva som blir til

Verdalselv rett oppstrøms 127.6 Grunnfoss. Reguleringsgradmagasin- og areal er hhv. 0,01 og 0,02 ved målestasjonen, og har således ingen praktisk betydning for flomforholdene i elva.

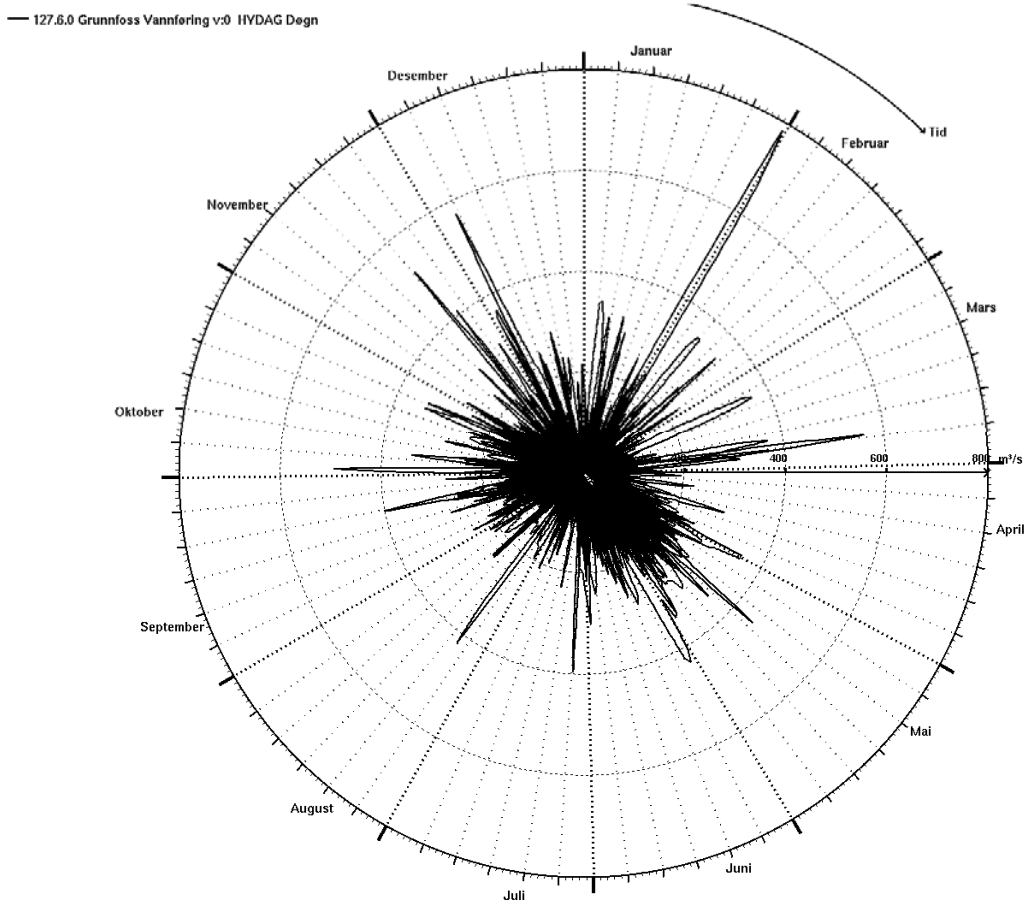
2.3 Karakteristiske vannføringer

I Verdalselv opptrer store flommer hyppigst om våren i månedene mai og juni i forbindelse med snøsmelting, men store flommer opptrer til alle årstider i forbindelse med store nedbørmengder, og særlig i kombinasjon med snøsmelting. Flom kombinert med isgang skaper ofte problemer og skader. Det kan oppstå skadeflommer både vår, høst og vinter.

I figurene 3-4 illustreres de hydrologiske forholdene i vassdraget, basert på observerte data. Karakteristiske vannføringer ved 127.6 Grunnfoss antas å beskrive avrenningsmønsteret i hovedelva godt. Figur 3 viser karakteristiske vannføringsverdier for hver dag i løpet av året for målestasjonen 127.6 Grunnfoss i perioden 1952-2015. Øverste kurve (maksimum) i diagrammet viser største observerte vannføring og nederste kurve (minimum) viser minste observerte vannføring i løpet av måleperioden. Den midterste kurven er mediankurven, dvs. at det er like mange observasjoner i løpet av referanseperioden som er større eller mindre enn denne. Figuren viser at flommer forekommer til alle årstider. Dette fremgår også av figur 4.



Figur 3. Flerårs-statistikk for 127.6 Grunnfoss. Figuren viser observerte min, median og maksvannføring over et døgn for hver enkelt dag i året for perioden 1952 – 2015.

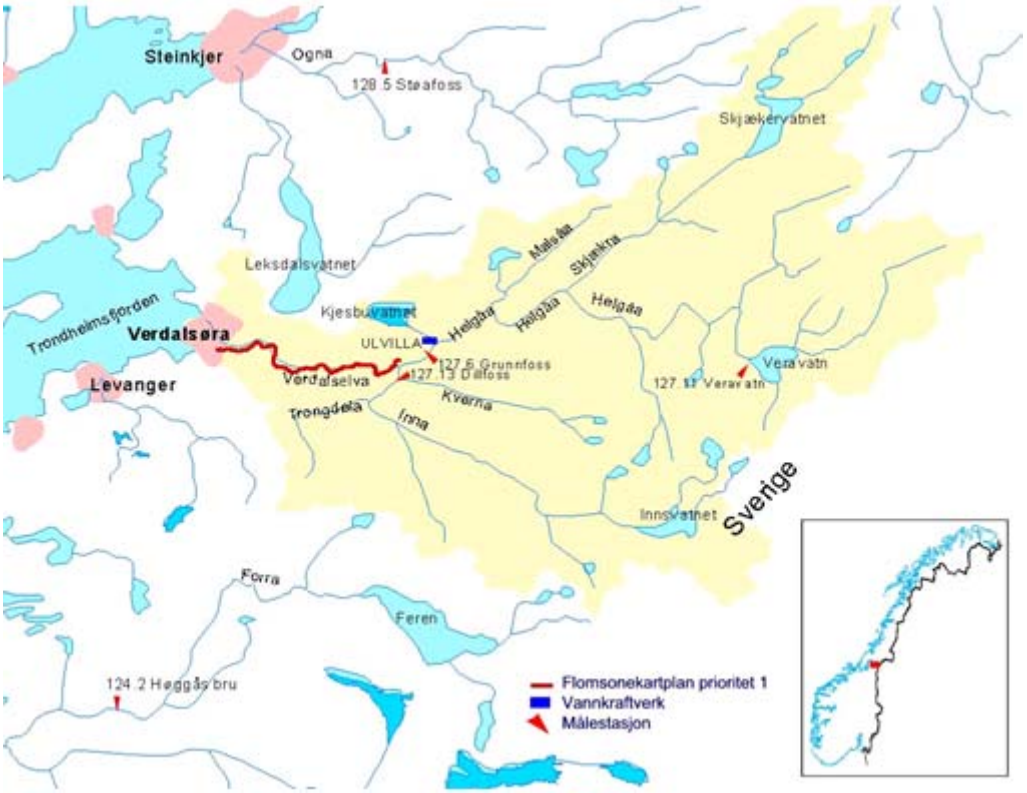


Figur 4 Årsplott, 127.6 Grunnfoss (1952-2015), største observerte flom i 31. januar i 2006.

Informasjon om de største flommene finnes i kap.5.

3. Hydrometriske stasjoner

Det er flere målestasjoner i vassdraget. Figur 5 viser beliggenheten til disse målestasjonene og andre sammenligningsstasjoner. Alle stasjonene er å betrakte som uregulerte. Homogenitetstesting av måleseriene ble gjort i 2015, og seriene er uten signifikante brudd hvis ikke annet er nevnt. Feltparameterne er oppsummert i Tabell 6. Nedenfor er det gjort en kort beskrivelse av de aktuelle målestasjonene.



Figur 5. Oversikt over målestasjoner benyttet i beregningene for Verdalsvassdraget.

Tabell 3. Feltparametere for målestasjoner benyttet/vurdert i analysene for Verdalsvassdraget.

Stasjon	**Feltareal** (km^2)	**Eff. sjø** (%)	**Normalavløp, Q_N** ($l/s \cdot km^2$)*	**Normalavløp, Q_N Obs.** ($l/s \cdot km^2$)	**Høydeintervall** (moh.)
Verdsalsvassdraget, hovedelva:					
127.6 Grunnfoss	880	0,10	43,0	42,9	38-500-1215
Arbeidsserie 1	1377	0,10	39,8	-	23-500-1224
Verdalsvassdraget, sideelver:					
127.11 Veravatn	176	3,65	36,2	40,9	361-518-1215
127.13 Dillfoss	480	0,19	34,5	36,6**	39-507-1031
Nabovassdrag:					
124.2 Høggås bru	495	2,39	41,7	42,1	98-505-1246
128.5 Støafoss	477	0,30	45,2	39,5	78-358-817

* Normalavløp funnet fra avrenningskartet for perioden 1961 – 1990.
** Hele observasjonsperioden, har ikke data fra hele perioden 1961-1990.

127.6 Grunnfoss ligger i Verdalselv rett nedstrøms tilløpet fra Ulvillbekken ca. 25 km fra utløpet i Trondheimsfjorden. Den gir dermed tilnærmet totalavrenning for en av de to hovedgreinene i Verdalsvassdraget. Kraftverksdriften ved Ulvilla kraftverk påvirker ikke flomvannføringene i stor grad da reguleringsgrad-magasin og arealgrad-areal ved 127.6 Grunnfoss bare er hhv. 0,02 og 0,01. Der er ingen over føringer ut eller inn av feltet, og nedbørfeltet anses som tilnærmet uregulert.

Målestasjonen har observasjoner fra 1908, men har et lengre brudd i registreringene fra 1930-1951. I perioden uten registeringer var det to store flommer; januar 1932 og oktober 1947. Via bilder og vannlinjer har man et estimat på kulminasjonsvannføringen til disse to flommene, mer om dette i kap. 4. Årsaken til at målestasjonen ble nedlagt i 1930 var stadige profilendringer i fossen pga. utrasninger. Det antas at dette hadde foregått i en 20-års periode frem til 1930 (NVEs Vannmerkeprotokoll). I tillegg førte elva med seg en del rullestein fra en grusrygg lenger oppstrøms. Datakvaliteten på observerte data ved Grunnfoss frem til 1930 er derfor av usikker kvalitet. I 1951 ble vannmerket gjenopprettet på samme sted som tidligere. Profilet var nå antatt å være stabilt, fordi det i mellomtiden var sprengt vekk fjell i profilet for å lette tømmerfløtingen i tillegg til at forbygninger hadde redusert løsmassetransporten i elveløpet.

Siden1951 har der vært kontinuerlige målinger. Frem til 1969 besto observasjonene av en daglig avlesning av vannstandsskalaen, fra den tid er stasjonen utstyrt med kontinuerlig registrerende instrument. Findata er tilgjengelig i NVEs database f.o.m 1989.

Stasjonen har isoppstuvede perioder hver vinter. Serien har mange kurveperioder på grunn av ustabilitet i bestemmende profil. Profilet er antatt stabilt etter 04.12.1990 (målinger indikerer det, ref. felthydrolog okt.2016). Gjeldende vannføringskurve ble sist revidert 17.11.11, og inkluderer målinger gjort under 2006-flommen[1]. Dagens vannføringskurve gir mer vann, enn den kurven man hadde under flomberegningene i 2002. Felthydrolog vurderer datakvaliteten i dag på flomvannføringer som god.

Arbeidsserie1[2] ($Q_{Arb.1} = (Q_{127.6\ Grunnfoss} * 1{,}008) + (Q_{127.13\ Dillfoss} * 1{,}005)$ er en konstruert serie som er representativ for Verdalselv rett nedstrøms samløpet mellom Verdalselv og Inna. Serien er laget på bakgrunn av serien 127.6 Grunnfoss i Verdalselva og 127.13 Dillfoss i Inna. Disse seriene er skalert opp med en skaleringsfaktor som representerer økning i feltareal (fordi man antar at flomvannføringen i restfeltene allerede har kulminert, er restfeltets bidrag antatt halvert) mellom målestasjonene og samløpet. Restfeltene er små, hhv. 14 km^2 (Verdalselv) og 4 km^2 (Inna). Deretter er døgnverdiene i disse seriene addert, og gir en estimert vannføring nedstrøms samløpet. Serien har data fra 1973-2015.

[1] Det ble gjort flere vannføringer under flommen og disse er godt tilpasset vannføringskurven. De tre vannføringsmålingene er vel og merke langt fra kulminsjonsnivå (ca. 1/3 av kulm.verdi).
[2] Finnes i Hydra II som arbeidsserie 127.13.0.1001.2016.

127.11 Veravatn ligger i Veravatn øverst i sidevassdraget Helgåa i de østligste delene av Verdalsvassdraget. Ca. 40 % av Veravatn sitt nedbørfelt ligger i Sverige. En effektiv sjøprosent på 3,7 %, gir en noe mer dempet avrenning enn de andre dataseriene i vassdraget. Målestasjonen har observasjoner fra 1966, med tilgjengelige findata fra 1980. Vannføringskurven ble sist revidert 14.02.16. Datakvaliteten på flomvannføringer er vurdert som ok av felthydrolog, da det i 2006 ble gjort flere målinger på stor vannføring.

127.13 Dillfoss ligger i Inna ved Dillfossen nedenfor samløpet mellom Inna og Kverna, rett oppstrøms tilløpet til Verdalselv. Ved målestasjonen er målinger foretatt siden 1973. Den gir dermed tilnærmet totalavrenning for en av de to hovedgreinene i Verdalsvassdraget. Vannføringskurven er revidert flere ganger etter beregningene i 2002, sist gang 26.11.14. Man har brudd i registeringene ved flere av de store flommene (bla. i 2006), og findata fra stasjonen viser at vannføringer over 300 m^3/s er av tvilsom kvalitet. Datakvaliteten på flomvannføringer antas derfor som usikker.

124.2 Høggås bru i nabovassdraget Forra, et sidevassdrag til Stjørdalselv, i sør. Forra har utspring i Feren, en av de største innsjøene i Trøndelag. Etter noen kilometer i stryk og stille loner renner Forra ut i et nærmest endeløst myrbasseng, der elva er meandrerende og nesten uten fall. Lenger ned blir dalen trangere og elva renner med jevnt fall. Forra løper ut i Stjørdalselva nær Hegra. Målinger er foretatt siden 1912. Kurveperioden 1957-1982 gir antagelig noe for stor vannføring. Vannføringskurven ble sist revidert 30.03.2000. Datakvaliteten på flomvannføringer er vurdert som ok av felthydrolog.

Det ble gjort en homogenitetstesting av uregulerte serier i 2015 og 124.2 Høggås bru ble da kategorisert som *autokorrelativ*[3], noe som betyr at serien har mer enn to sprang. Noe av forklaringene *kan* være at det er har vært tømmeraktivitet frem til 1961, med kunstige flomtopper på våren. Serien viser høyere verdier i perioden 1930-1960.

128.5 Støafoss ligger i nabovassdraget Ogna, som renner ut i Steinkjerelven, nord for Verdalsvassdraget. Ogna har sitt største magasin i Roktsjøen sørøst for Snåsavatnet. Herfra renner vassdraget gjennom betydelige skogstrakter før det renner sammen med Byaelven og blir til Steinkjerelven ca. 1 km fra Steinkjer. Ogna er et utpreget lavlandsvassdrag, med hele 93 % av nedbørfeltet lavere enn 600 moh. Målinger er foretatt siden 1932. Dataserien har observasjonsbrudd i perioden 1953-1957. Tømmerfløting frem til 1966. Felthydrolog vurderer kvaliteten på flomvannføring som veldig usikker.

[3] Prosesser som ikke forandrer seg for mye fra år til år, men likevel beskriver langtidstrender, vil ha såkalt auto-regressivitet, altså at neste måling avhenger av forrige. Blant stasjoner med inhomogeniteter opptrer den autokorrelative modellen relativt ofte. De autokorrelative trenden kan være vanskelige å forklare, de kan forårsaket av f.eks. klimatiske variasjoner eller endringer i vassdraget.

4. Beregning av flomverdier

Grunnlaget for flomsonekartleggingen er flomvannføringer for gitte gjentaksintervall som beskrevet i kapitel 1. Siden det finnes observasjon av vannføring i Verdalsvassdraget er utgangspunktet for flomfrekvensanalysen observasjonsserier av vannføring, men også regionale flomfrekvenskurver er benyttet (Sælthun *m.fl.*, 1997).

4.1. Flomfrekvensanalyser – valg av vekstkurve

En skiller gjerne mellom vårflommer og høstflommer. Store vårflommer er ofte en kombinasjon av snøsmelting og regn. Høstflommer kommer som regel fra en ren regnhendelse. De underliggende mekanismene er forskjellige og kan ha ulike fordelinger. Vårflommene er årvisse, har ofte stort volum og lang varighet og øker moderat mot høye gjentaksintervall. Høstflommer kan være små eller mangle helt enkelte år, men stiger ofte raskere for sjeldne hendelser. I vassdrag med hyppighet av både høst- og vårflommer er det vanlig å utføre separate analyser av vår- og høstflommene, og ekstrapolere frekvenskurvene hver for seg (Sælthun *m.fl.*, 1997).

I flomsonekartprosjektet er det bestemt at frekvensanalyse av årsflommer skal legges til grunn for beregningene (NVE, 2000 (rev. 2013)). Det vil si at frekvensanalysen er basert på en serie som består av den største observerte døgnmiddelvannføringen for hvert år. Bakgrunnen for dette er at en flomepisode, enten den inntreffer vår eller høst, ofte er en kombinasjon av både snøsmelting og regn, og tilhører derfor nødvendigvis ikke en av to forskjellige populasjoner. Dette er også tilfellet for mange flommer i Verdalsvassdraget. Siden analysen gjøres kun mhp. årsflommer kan en derfor risikere at det skjer en blanding av rene regnflommer og rene snøsmelteflommer i analysegrunnlaget, og man kan en risikere at en stor flom (som ikke er års største) kan være større enn den største flommen i et annet år. For eksempel kan det skje at høstflommen ett år ikke kommer med i analysegrunnlaget fordi denne er lavere enn vårflommen samme år, til tross for at den er større enn største flom i et annet år.

Med bakgrunn i dette er det utført flomfrekvensanalyser av årsflommer ved målestasjonene beskrevet i kapitel 3. For hver stasjon tilpasses ulike fordelingsfunksjoner, og den frekvensfordelingen som vurderes best tilpasset de observerte årsflommene velges. Frekvensfordeling for de forskjellige stasjonene er sammenfattet i Tabell 7 sammen med regionale vekstkurver. Midlere flom (Q_M) er oppgitt i absolutte og spesifikke verdier og flommer for ulike gjentaksintervall (Q_T) som forholdstallet (flomfrekvensfaktor) til midlere flom (Q_T/Q_M). Normalvannføringen finnes i Tabell 2. Frekvensfordelingen som er benyttet direkte videre i beregningene er uthevet.

De mest aktuelle vekstkurvene er illustrert grafisk helt til slutt i dette delkapitlet.

Tabell 4 Flomfrekvensanalyser av årsflommer for aktuelle målestasjoner, sammen med regionale frekvenskurver for årsflommer (Sælthun *m.fl,* 1997).

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km²	Q_M		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
				m³/s	l/s•km²									
127.6 Grunnfoss	1952-2015	64	880	303	345	1,19	1,42	1,67	2,06	2,41	2,82	3,45	4,01	GEV max
127.6 Grunnfoss	**1952-2015**	**64**	**880**	**303**	**345**	**1,22**	**1,43**	**1,65**	**1,97**	**2,23**	**2,53**	**2,96**	**3,34**	*
127.6 Grunnfoss	1973-2015	43	880	295	335	1,19	1,41	1,66	2,03	2,35	2,71	3,28	3,78	GEV-l-mom
127.13 Dillfoss	1973-2015	43	479	160	333	1,19	1,38	1,57	1,83	2,03	2,26	2,57	2,82	GEV-l mom
Arbeidsserie 1	1973-2015	43	1377	448	325	1,19	1,40	1,63	1,97	2,27	2,59	3,09	3,51	GEV-l-mom
127.11 Veravatn	1966-2015	49	176	54	307	1,21	1,41	1,60	1,87	2,08	2,30	2,61	2,85	GEV-maks
127.11 Veravatn	1973-2015	43	176	54	308	1,22	1,40	1,59	1,83	2,02	2,21	2,47	2,67	GEV-l-mom
124.2 Høggås bru	1912-2015	103	495	154	312	1,20	1,38	1,56	1,80	1,98	2,17	2,44	2,64	GEV-maks
124.2 Høggås bru	1973-2015	43	495	144	291	1,17	1,31	1,45	1,66	1,83	2,03	2,31	2,56	GEV-l-mom
128.5 Støafoss bru	1957-2015	58	477	178	374	1,25	1,50	1,75	2,11	2,41	2,73	3,19	3,57	GEV-l-moment
128.5 Støafoss bru	1973-2015	43	477	188	395	1,23	1,47	1,73	2,10	2,42	2,76	3,27	3,69	GEV-l-mom
H2 - region						1,3	1,6	2,0	2,4	2,7	3,0	3,6	3,9	
H1 – region						1,3	1,6	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5	
V4 - region						1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1	
V2 - region						1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	
K2 – region						1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	

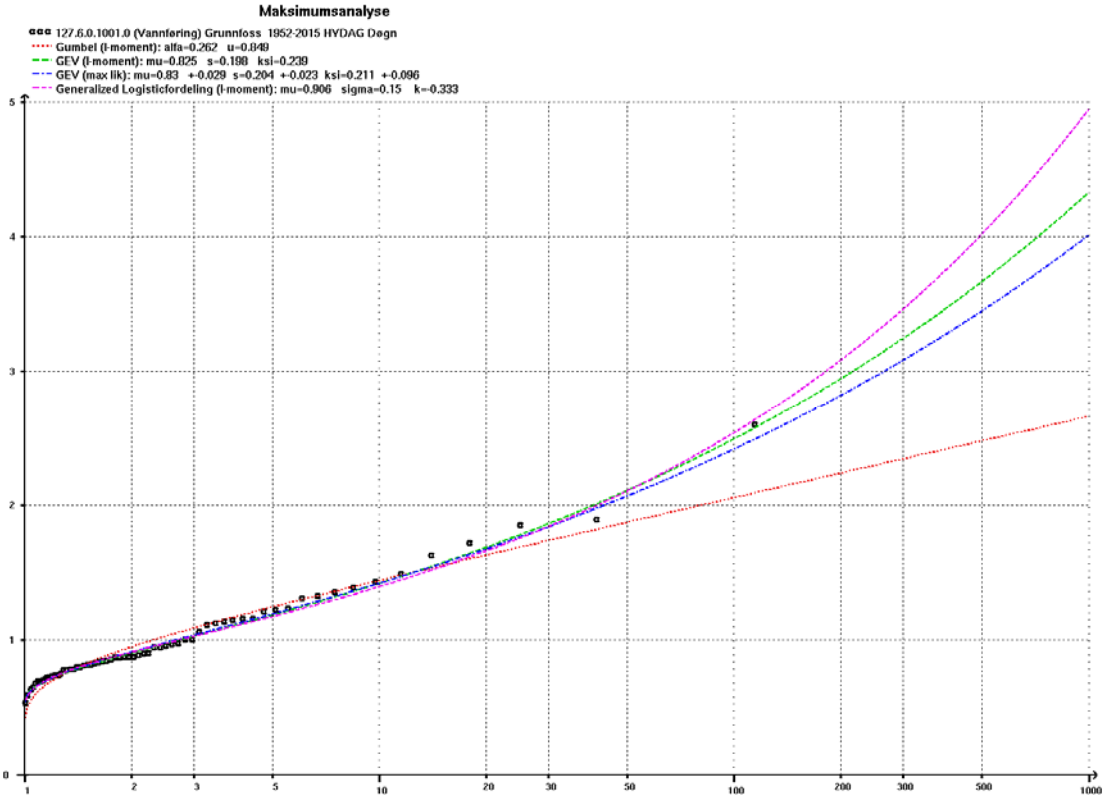
*Kombinasjon av to ulike fordelingsfunksjoner, Gumbel og GEV-maks.

Flomforholdene i et nedbørfelt påvirkes både av klimatiske og fysiografiske forhold. Ved valg av representativ frekvensfordeling for umålte felt, er det antatt at klimatiske forhold har større betydning enn de fysiografiske. Ideelt sett bør man ha tilgang på lange dataserier som representerer dagens forhold å få et riktig bilde av vassdraget i fremtiden.

127.6 Grunnfoss antas å være representativ for vassdraget og har den lengste dataserien (64 år inngår i frekvensanalysen, men observasjonstiden er lenger) i Verdalsvassdraget. Denne serien er derfor sentral. Figur 6 viser ulike frekvensfordelinger for 127.6 Grunnfoss.

Ekstreme hendelser, som flommen i 2006, påvirker resultatet av flomfrekvensanalyser. Mens det oftest er uproblematisk å anslå et gjentaksintervall for en flom som ligger innenfor det tilgjengelige datamaterialet, forandres gjentaksintervallet før og etter en flom som er større enn tidligere største observerte. Detter er også hovedårsaken til man i denne flomberegningen får brattere vekstkurver, enn flomberegningen i 2002.

Flere av frekvenskurvene til 127.6 Grunnfoss stiger bratt for høye gjentaksintervall, se Figur 6. Dette kan skyldes at man får en blanding av veldig store flommer (2006) som først og fremst er drevet av regn, og mange små, rene smelteflommer. Dette kan gi en noe kunstig bratt kurve på frekvensfordelingen og overestimering av de største gjentaksintervallene.



Figur 6 Frekvensfordelinger for 127.6 Grunnfoss (1952-2015). De fire største flommene er hhv. 2006,1962, 1953 og 1961 og 2015. Vannføringen på Y-aksen er gitt som forholdet Q_T/Q_M.

Målestasjonen ved Grunnfoss har også observasjoner fra 1908 – 1930, men dataene er av for usikker kvalitet til å kunne brukes for frekvensanalyse. I perioden 1930-1951 var der ingen registreringer, men man har hatt to store flommer; 28.januar1932 og 20.oktober1947.

Via bilder og vannlinjer har man et estimat på kulminasjonsvannføringen til disse to flommene på hhv. 687 m^3/s og 724 m^3/s. Hvilken døgnmiddelverdier disse flommene representerer er ukjent. Avsnitt 4.3 viser at forholdstallet mellom døgnmiddel- og kulminasjonsvannføring varierer mellom 1,1 og 1,7. Litt avhengig av hvilket forholdstall som benyttes havner disse to flommene på nivå med flommene i 1962 og 1953 (altså en plass mellom 2-5. største flom). Eksakt nivå på disse på døgnmiddelflommene er altså usikker.

De to historiske flommene er forsøkt implementert i frekvensanalysene via en nyutviklet metode hvor man angir en øvre og nedre skranke på de to døgnmiddelverdiene, samtidig som man setter en øvre terskel på hvor stor evt. andre flommer i et antatt representativt tidsrom (1930-1951) kan ha vært. Lengden på dette

tidsrommet er med på å vekte betydningen av de historiske flommene. Inkludering av de to flommene viste seg å gi liten effekt på vekskurven (noe slakere, se Vedlegg 1) til sammenligning med vekstkurvene basert på data fra 1952. For videre analyser har man derfor valgt å ikke inkludere disse to flommene direkte i analysegrunnlaget.

124.2 Høggås er nærmeste uregulerte målestasjon med lang observasjonsserie, med data f.o.m 1912. Frekvensanalysene for Høggås gir en vesentlig flatere vekstkurve enn kurven til Grunnfoss, se vedlegg 2. Flommen i 2006 ser ut til å ha vært vesentlig mindre her, og langt fra største flom (4. største flom), og forklarer den største forskjellen brattheten på vekskurvene. Flommene ser generelt ut til å ha litt lavere spesifikke verdier ved Høggås (også mer demping i feltet pga. høyere eff.sjøprosent) enn ved Grunnfoss. Man ser også at der er lokale forskjeller i hvor hardt de ulike værsystemene har rammet vassdragene. To av de største flommene ved Grunnfoss ,2006 og 1962, er vesentlig mindre ved Høggås, og motsatt ved f.eks flommen i 2012 som er større ved Høggås bru.

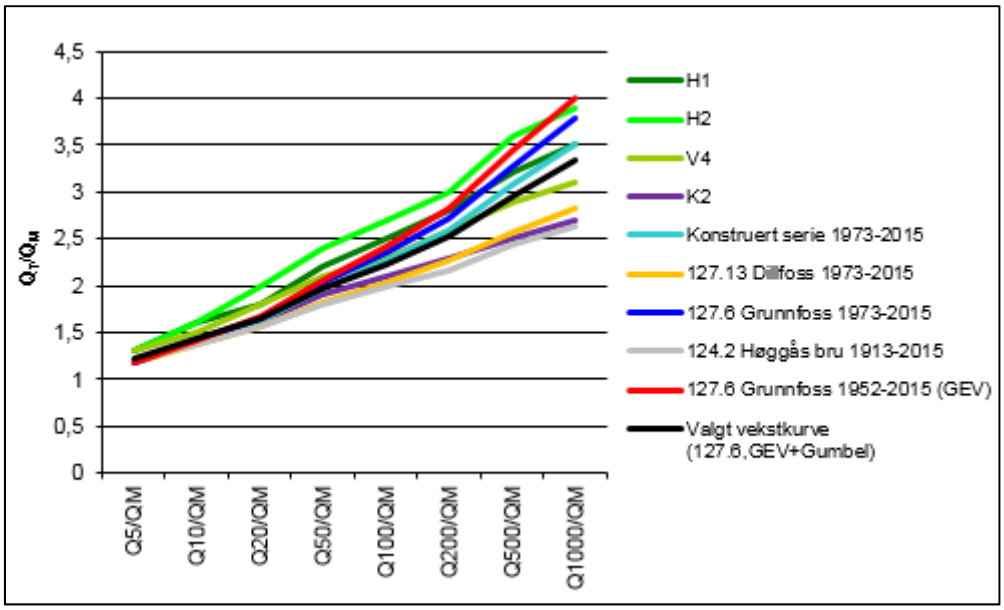
127.13 Dillfoss, som også ligger i Verdalsvassdraget har data f.o.m. 1973. Verdi for største flom (2006) sammenlignet med de andre registrerte flommene ved målestasjonen er meget stor. Som nevnt i kap. 2 har Dillfoss usikre data ved flomstore vannføringer (> 250m^3/s), også brudd i registreringer under flommen i 2006. Dette er noe som kan forklare at Dillfoss viser forholdsvis lave flomtopper, sammenlignet med Grunnfoss. Den spesifikk døgnmiddelverdien for 2006-flommen er tilnærmet lik for Dillfoss og Grunnfoss (Ca.900 l/s/km^2). Begge nedslagsfelt ble forholdsvis likt eksponert for nedbør under denne hendelsen, se. www.xgeo.no. To veldig små flommer i 2002 og 1991 påvirker også stigningen på vekstkurven.

Endelig valg av vekstkurve

For hovedelva, fra Grunnfoss og ned til samløp med Inna, er det valgt å benytte data fra Grunnfoss for perioden 1952-2015. Opp til gjentaksintervall Q_{50} er det godt samsvar mellom de ulike fordelingene, men fra Q_{100}-Q_{1000} spriker frekvensfordelingene og det er derfor valgt å ta et gjennomsnitt av Gumbel og GEV-maks fordelingen. På den måten senker man stigningen på vekstkurven for 127.6 Grunnfoss som er meget bratt for de aller største gjentaksintervallene ved valg av GEV-maks fordelingen. Dette gir flommen i 2006 et gjentaksintervall på ca. 200år, noe som rimer med anslått gjentaksintervall for samme flom andre steder i regionen.

For sideelven Inna er 127.13 Dillfoss viktig, men serien er noe kort for frekvensanalyser og datakvaliteten på flomvannføringene gjør at vekskurvene ved Dillfoss er veldig usikre. Ved valg av representativ frekvensfordeling er det antatt at klimatiske forhold har større betydning enn de fysiografiske. På grunn av geografisk nærhet og klimatiske forhold er det valgt benytte samme frekvensfordeling for Dillfoss som for Grunnfoss som har en lang serie og ligger i samme vassdrag.

Samme vekstkurve benyttes dermed også for beregningspunkter nedstrøms samløpet.



Figur 7 Aktuelle vekstkurver

4.2. Beregning av middelflom

Ved beregning av absolutte flomstørrelser bør feltkarakteristika som effektiv sjøprosent og feltareal i større grad inngå i vurderingen av representative nedbørfelt enn i frekvensanalysen. Spesifikk middelflom antas å avta med økt størrelse på nedbørfeltet, ved at flomtoppene fra de ulike delfeltene vil nå hovedvassdraget til litt forskjellig tid. Spesifikk middelflom vil også avta med økt effektiv sjøprosent, ved at sjøer har en flomdempende effekt.

Middelflom er gjennomsnittet av største døgnmiddelvannføring hvert år over en referanseperiode.

Man trenger å beregne middelflom fra uregulerte måleserier, da man bruker denne middelflommen sammen med valgt frekvensfaktorer for å estimere flomvannføring for Q_{100} (F.eks.: $Q_{100} = Q_M * (Q_T/Q_M)$)

Tabell 5 Beregning av middelflom basert på uregulerte måleserier i Verdalsvassdraget

Stasjon/dataserie	Feltareal (km^2)	Q_M (m^3/s)	Q_M ($l/s \cdot km^2$)	Tidsperiode	Kommentar
127.6 Grunnfoss	880	303	**345**	**1952-2015**	Uregulert, observert
127.6 Grunnfoss	880	295	335	1973-2015	Uregulert, observert
Forskjell i Q_M mellom (1952-2015) / (1973-2015):			3 %		-
127.13 Dillfoss	479	160	333	1973-2015	Uregulert, observert
127.13 Dillfoss	479		**340***	**1952-2015**	Uregulert, beregnet
Forskjell i Q_M mellom (1952-2015) / (1973-2015):			3 %		Valgt
127.13.0.1001.2016 Arbeidsserie 1	1377	448	325	1973-2015	Uregulert, observert
127.13.0.1001.2016 Arbeidsserie 1	1377	-	**335**	**1952-2015**	Uregulert, beregnet
Forskjell i Q_M mellom (1952-2015) / (1973-2015):			**3 %**		Valgt

*Avrundet ned fra 343 l/s/km^2

Observasjoner fra 127.6 Grunnfoss viser at middelflom for lengste observasjonsperiode (1952-2015) er 3 % større enn for perioden 1973-2015. 124.2 Høggås bru, med observasjoner fra samme tidsperiode viser tilsvarende forskjeller, men da en forskjell på 2 % for de to periodene.

Det antas at 127.13 Dillfoss og Arbeidsserie 1 vil har tilsvarende forskjeller, og at den prosentvise forskjellen mellom de to periodene er ca. 3 %. Valgt middelflom for Dillfoss og Arbeidsserie 1 bli derfor hhv. 340 l/s/km^2 og 335 l/s/km^2.

Til sammenligning så har man også sett på regionale flomformler. I Sælthun *m.fl.*, (1997) er det utarbeidet regionale flomformler for beregning av spesifikk middelflom i uregulerte felt som bygger på regresjon mot feltparametere.

Verdalsvassdraget er lokalisert i et område som har både vårflommer (V4, V1), høstflommer (H2, H1) og årsflommer (K2). Formlene for vår - og høstflommer, estimerer lavere verdier enn observert middelflom. Verdier basert på formler for årsflommer liggere nærmere de observerte verdiene. De regionale flomformlene indikerer også at det skal være større forskjell mellom Dillfoss og Grunnfoss (14 - 28%) i spesifikk middelflom, men de observerte verdiene tilsier at forskjellen mellom de to er liten (1%). Noe av forklaringen er at avrenningskartet underestimerer årsavrenningen for Dillfoss.

Middelflom basert på observasjoner er lagt til grunn for videre vurderinger.

Det er ikke lett å «fordele» middelflom gjennom vassdraget på en måte som kan være representativ for de ulike flommene. Det er ikke unormalt at nedbør og snøsmeltingen fordeler seg ulikt i vassdraget under en flomhendelse, og at dette varierer fra en flomhendelse til en annen. For en gitt flomhendelse kan derfor ulike deler av vassdraget ha ulike gjentaksintervall.

Tabell 6 Beregnet middelflom (QM) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for beregningspunkter i Verdalselva, døgnmiddelvannføringer.

Sted	**Areal** km^2	**Q_M**		**Q_5**	**Q_{10}**	**Q_{20}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**	**Q_{500}**	**Q_{1000}**
		m^3/s	l/s·km^2	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
Frekvensfaktorer, Q_T/Q_M				1,22	1,43	1,65	1,97	2,23	2,53	2,96	3,34
Verdalselv, v/ 127.6 Grunnfoss	879	303	345	369	434	500	596	676	766	898	1012
Verdalselv,oppstr.saml. m/Inna	894	306	342	371	437	504	601	682	772	905	1019
Inna	484	165	340	200	235	272	323	367	416	487	549
Verdalselv,nedstr.saml. m/Inna	1377	461	335	561	660	761	907	1029	1165	1366	1539
Verdalselv, ved Ekle	1444	469	325	570	671	774	922	1046	1185	1389	1565
Verdalselv, ved Verdalsøra	1467	471	321	572	674	777	926	1050	1189	1394	1571

Tabell 7 Beregnet middelflom (QM) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall for beregningspunkter i Verdalselva, døgnmiddelvannføringer – i spesifikke verdier.

Sted	Areal km²	Q_M		Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}
		m³/s	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²	l/s·km²
Frekvensfaktorer , Q_T/Q_M				1,22	1,43	1,65	1,97	2,23	2,53	2,96	3,34
Verdalselv, v/ 127.6 Grunnfoss	879	303	345	419	493	569	678	769	871	1021	1151
Verdalselv,oppstr.saml. m/Inna	894	306	342	416	489	564	672	763	864	1012	1141
Inna	484	165	340	413	486	561	668	758	859	1006	1134
Verdalselv,nedstr.saml. m/Inna	1377	461	335	407	479	553	658	747	846	992	1117
Verdalselv, ved Ekle	1444	469	325	395	465	536	639	725	821	962	1084
Verdalselv, ved Verdalsøra	1467	471	321	390	459	530	631	716	811	950	1071

4.3. Beregning av kulminasjonsvannføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmiddelvannføring. I små vassdrag vil kulminasjonsvannføring være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Små nedbørfelter med lav effektiv sjøprosent vil typisk ha et raskere og spissere flomforløp sammenlignet med større nedbørfelter med høyere effektiv sjøprosent. I større vassdrag er situasjonen ofte slik at avløp fra forskjellige deler av feltet ankommer et og samme punkt i hovedvassdraget på forskjellige tidspunkt. Dermed senkes forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring (Q_{mom}/Q_{mid}).

Smelteflommer har en relativt lang varighet og et stort volum. Dette gir et dempet avløp, og ofte et moderat avvik mellom momentan- og døgnmiddelflommen. Intens og kraftig nedbør gir derimot forholdsvis raske flommer, som i de fleste tilfeller vil gi et større forholdstall/avvik mellom momentan- og døgnmiddelflom.

For Verdalsvassdraget, som har både smelteflommer, regnflommer og kombinasjonsflommer, kan man derfor vente en stor variasjon i forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring (Q_{mom}/Q_{mid}) for de ulike observerte flommene, se Tabell 8 og Tabell 9.

Forholdet mellom Q_{mom}/Q_{mid} anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning. For Verdalsvassdraget er forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring vurdert med bakgrunn i observerte data ved målestasjonen 127.6 Grunnfoss (hovedelv) og målestasjon 127.13 Dillfoss (sideelv), samt med regionale formler (Sælthun *m.fl.*,1997).

I Sælthun *m.fl.*,(1997) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet Q_{mom}/Q_{mid} og feltkarakteristika for vår- og høstsesong. For vårflommer gjelder formelen:

$$Q_{mom}/Q_{mid} = 1{,}72 - 0{,}17 \cdot \log A - 0{,}125 \cdot A_{SE}^{0.5},$$

mens formelen for høstflommer er:

$$Q_{mom}/Q_{mid} = 2{,}29 - 0{,}29 \cdot \log A - 0{,}270 \cdot A_{SE}^{0.5},$$

hvor A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent.

For hver av målestasjonene er de største flommene (døgnmiddel) sammenlignet med tilhørende kulminasjonsvannføringer.

Tabell 8 viser kulminasjonsvannføring, døgnmiddelvannføring og forholdstallet, Q_{mom}/Q_{mid} , mellom disse, samt forholdstall beregnet med de regionale formlene.

Tabell 8 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 127.6 Grunnfoss. Findata tilgjengelig fra 1989.

Dato*	**Døgnmiddel** m^3/s	**Kulminasjon** m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	**Kommentar**
31.01.2006 19:30	786	909	1,16	Se kommentar i avsnitt under
02.10.2015 07:30	492	766	1,56	Usikker kulminasjonsverdi.
02.06.1995 18:04	432	460	1,07	
08.08.2000 17:00	421	660	1,57	
23.11.1994 13:15	409	480	1,17	
23.03.2012 00:00	372	482	1,29	
03.12.1990 03:54	365	615	1,68	
Formelverk, vår			1,15	
Formelverk, høst			1,29	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,3**	

*Kulminasjonstidspunkt

Variasjonen er stor, fra 1,07 – 1,68 for Q_{mom}/Q_{mid} faktor. Flommene som er rene regnflommer (2000) eller kombinasjon av mye regn og snøsmelting (2006, 2015,1990) får et større forholdstall mellom kulminasjon og døgn, sammenlignet med de flommene som er mer dominert av snøsmelting. Storflommen i 2006 har et forholdsvis lavt forholdstall. Vannføring kulminerte på kvelden, men holdt seg stor også utover natta. Fordi verdiene for døgnmiddelverdier regnes fra kl. 00-00, vil verdien på døgnmiddelflommen være avgjørende for forholdstallet. Påfølgende døgn (som da har en lavere døgnmiddelvannføring, men fortsatt forholdsvis stor maksimal vannføring) har til sammenligning et forholdstall større enn 1,3.

Siden kombinasjonsflommene er de aller største flommene, er regnflommenes høye forholdstall vektlagt noe mindre. Flommen i 2006 har fått stor vekt. For 127.6 Grunnfoss er derfor en Q_{mom}/Q_{mid} faktor på 1,3 valgt. Denne faktoren antas representativ for alle punkter i hovedelva, helt ned til utløpet ved Verdalsøra.

Tabell 9 Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved 127.13 Dillfoss. Findata tilgjengelig fra 1973.

Dato*	Døgnmiddel m^3/s	Kulminasjon m^3/s	Q_{mom}/Q_{mid}	Kommentar
31.01.2006	434	-	-	Ikke registrert flomtopp
23.03.2012 00:00	221	248	1,12	
26.03.1982 19:00	221	280	1,27	
02.10.2015 04:00	214	370	1,73	
14.09.2011 15:00	200	262	1,31	
03.12.1990 01:14	163	320	1,96	
Formelverk, vår			1,21	
Formelverk, høst			1,39	
VALG: Q_{mom}/Q_{mid}			**1,4**	

*Kulminasjonstidspunkt

Variasjonen er stor også her, fra 1,12 – 1,96 for Q_{mom}/Q_{mid} faktor. Fordi dette feltet er noe mindre er også anbefalt Q_{mom}/Q_{mid} noe høyere enn ved Grunnfoss. De største forholdstallene antas ikke representativ for de antatt største flommene (kombinasjonsflommer) i vassdraget. For 127.13 Dillfoss er en Q_{mom}/Q_{mid} faktor på 1,4 valgt, som også er et avrundet snitt av de største flommene, se Tabell 9. Denne faktoren er gjeldene for Inna rett før samløp med Verdalselv.

Resulterende kulminasjonsvannføringer ved flommer med forskjellige gjentaksintervall i Verdalsvassdraget er vist i Tabell 10. Spesifikke verdier er vist i Tabell 11.

Tabell 10. Flomverdier i Verdalsvassdraget for de ulike beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer.

Punkt i vassdraget	Q_{mom}/Q_{mid}	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Verdalselv,v/127.6 Grunnfoss	1,30	394	479	564	651	775	879	996	1167	1315
Verdalselv,oppstr.saml.m/Inna	1,30	397	483	568	656	781	886	1003	1176	1325
Inna	1,40	230	280	329	380	453	514	582	682	768
Verdalselv,nedstr.saml.m/Inna	1,30	600	729	858	990	1179	1338	1515	1776	2001
Verdalselv, ved Ekle	1,30	610	741	872	1006	1198	1360	1540	1805	2034
Verdalselv,vedVerdalsøra	1,30	612	744	876	1010	1203	1365	1546	1812	2042

Tabell 11. Flomverdier i Verdalsvassdraget for de ulike beregningspunktene, kulminasjonsvannføringer, spesifikke verdier.

Punkt i vassdraget	Q_{mom}/ Q_{mid}	Q_M l/s km^2	Q_5 l/s km^2	Q_{10} l/s km^2	Q_{20} l/s km^2	Q_{50} l/s km^2	Q_{100} l/s km^2	Q_{200} l/s km^2	Q_{500} l/s km^2	Q_{1000} l/s km^2
Verdalselv,v/127.6 Grunnfoss	1,30	449	545	641	740	881	1000	1132	1328	1496
Verdalselv,oppstr.saml.m/Inna	1,30	445	540	636	734	874	991	1123	1316	1483
Inna	1,40	476	578	681	785	935	1061	1202	1409	1587
Verdalselv,nedstr.saml.m/Inna	1,30	436	529	623	719	856	971	1100	1289	1452
Verdalselv, ved Ekle	1,30	423	513	604	697	830	942	1067	1251	1409
Verdalselv,vedVerdalsøra	1,30	417	507	597	689	820	931	1054	1235	1392

4.4 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer

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

I NVE-rapport 81-2016 «Klimaendring og fremtidige flommer i Norge» (Lawrence, 2016) samt rapporten «Klima i Norge 2100» (Hanssen Bauer mfl., 2015) er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til forventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall.

Avsnitt 6.3 «Trøndelag» i nevnte rapport (Lawrence, 2016) viser at nedbørfeltene i Trøndelag varierer med hensyn til mulig effekt av klimaendring på flom i framtiden, fra en liten reduksjon for ett nedbørfelt i Sør-Trøndelag til mer enn 40 % økning for ett nedbørfelt ved grensen til Nordland. I rapportens Vedlegg B er det gjort spesifikke anbefalinger for elvestrekninger som er flomsonekartlag, og for Verdalsvassdraget er det anbefalt et klimapåslag på 0 %.

5. Observerte flommer

Store nedbørmengder og mildt vær førte til stor flom i Midt-Norge fra 29. januar 2006 og noen dager fremover. Spesielt ble Fosenhalvøya i Trøndelag rammet, men også for områder lenger øst og sør i Trøndelag er dette den største registrerte flommen, med et gjentaksintervall på 200-år eller mer for flere vassdrag. Flommen resulterte i store skader på div. infrastruktur, også bebyggelse. 2006-flommen er også den største registrerte flommen i Verdalsvassdraget. Ved Grunnfoss kulminerte flommen på 909 m^3/s, se Tabell 12, for døgnmiddelflommen har 2006-flommen et gjentaksintervall på litt over 200år, men noe i underkant av 200år for kulminasjonsvannføringen.

Tabell 12 Største observerte døgnmiddelvannføringer ved utvalgte målestasjoner i Verdalsvassdraget og et par nabovassdrag.

Stasjon		Obs.-periode	År	Dato	Døgnmiddel-vannføring m^3/s	Kulminasjons-vannføring m^3/s	Gjentaks intervall i hht. 2016
127.6	Grunnfoss	1932-2015	2006	31.01	786	909	Ca. 200
			1962	05.12	572	-	Ca. 40
			1947	-	-**	774	
			1932	-	-**	687	
			1953	25.03	560	-	Ca. 40
			1961	21.11	519	-	Ca. 25
			2015	02.10	492	766	Ca. 15
127.13	Dillfoss	1973-2015	2006	31.01	433	-	Ca. 200
			2012	23.03	222	248	Ca.5-10
			1982	26.03	221	280	Ca.5-10
			2015	02.10	214	371	Ca.5-10
			2011	14.09	201	262	Ca.5-10
124.6	Høggås	1912-2015	1947	20.10	355		
			1932	29.09	290		
			1953	25.03	284		
			2006	31.01	258		
			1961	21.11	246		
128.5	Støafoss	1957-2015	2006	31.01	472		
			1990	03.12	322		
			2015	02.10	315		
			1932	28.01	301		
			1982	27.03	281		

Av større flommer etter 2000-årsskifte har flommene i Trøndelag i juni 2010, august 2011 og mars 2012 vært forholdsvis store, men ikke akkurat i Verdalsvassdraget. Alle disse flommene har i dette vassdraget hatt et gjentaksintervall mellom 2-7 år.

Figur 8 Imsberget bro ved samløpet mellom Inna og Verdalselv under flommen i 1947. Broen reiste til slutt av gårde. Flommen var et resultat av kraftig snøsmelting og høy nedbørintensitet. (Kilde: Verdalsbruket AS ved Jon Lykke)

6. Sammenligning med andre flomberegninger

Døgnmiddelverdier for Q_{1000} for de ulike beregningspunktene i Verdalsvassdraget ligger mellom1150 og 1070 l/s/km^2. Det er ikke gjort andre flomberegninger i Verdalsvassdraget (hovedelva) enn forrige flomberegning i 2002.

Erfaringstall fra Retningslinjer for flomberegninger fra 2011, hevder at for vassdrag på 50-500km^2 (som Dillfoss) må man i Trøndelag forvente døgnmiddelverdier for Q_{1000} på mellom600-1800 l/s/km^2, med avtagende størrelser østover. For felt over 500 km^2 er verdiene lavere.

Forskjellene på beregningene gjort i 2002 og i denne flomberegningen (2016) er for hovedelva forholdsvis små, men øker med økende gjentaksintervall. 5-7 % økning i døgnmiddelverdier for Q_{200} og 10-13 % for Q_{1000}. Endringen er større for Inna. Her øker døgnmiddelvannføringen med 12 % for Q_{200}, og 21 % for Q_{1000}. For kulminasjonsvannføringen så økes verdien ytterlig 10 % for Inna.

Forklaringene til forskjellene er en kombinasjon av følgende punkter:

- **Ulikt datagrunnlag**; 15 år lengre serie som inkl. tidsserienes største flom (2006). Dette gir en svak endring av middelflom, større effekt på frekvensfordelingene.
- **Ulik måte å bestemme/fordele verdier for middelflom** på mellom punkter med observasjoner.

- **Ulike kulminasjonsfaktorer.** Endring for dette pkt. gjelder bare Inna, endring i Q_{mom}/Q_{mid} fra 1,3 til 1,4.
- **Endring av vannføringskurve** for 127.6 Grunnfoss. Gir noe mer vann i dag enn ved beregningen i 2002.

I 2015[4] gjorde Norconsult en flomberegning for Kjesbudammen (Ulvilla kraftverk). Nedbørfeltet er 24 km^2, og veldig lite sammenlignet med nedbørfeltene det beregnes for i Verdalsvassdraget (2016). For Kjesbudammen er Q_{1000} satt til 1300 $l/s/km^2$. Det er rimelig å vente at Q_{1000} for et så lite felt skal være vesentlig høyere enn for beregningspunktene i Verdalselva.

[4] Norconsult, 11.12.2015. Godkjent av NVE 11.05.16.

7. Samløpsproblematikk

Under en flomhendelse vil ofte sideelver i vassdraget kulminere på et annet tidspunkt enn hovedelva, og de relative flomstørrelsene (gjentaksintervall/returperiode) kan være svært ulike innad i vassdraget. For eksempel kan det største bidraget fra en sideelv ha passert hovedelva før denne kulminerer. Ved beregning av vannlinjer der to elvestrenger med stor forskjell i kulminasjonstidspunkt møtes, er det nødvendig å anslå vannføringen i hver av elvene når den andre kulminerer. Dette for å få et mest mulig realistisk bilde på vannstanden rett oppstrøms samløpet.

Flom i sideelv:

Sideelven som inngår i elvestrekker som det skal gjøres vannlinjeberegninger for er Inna. Flommen i denne sideelven kulminerer stort sett innen null til fire timer tidligere enn hovedelva ved samme flomepisode (basert på analyse av de 6 største flommene med findata uten brudd ved flomtopp). Dette kommer av mindre nedbørfelt og kortere transporttid og respons i feltet. I hovedelva nedstrøms tilløpet fra sideelvene vil vannføringen være gitt av vannføring i sideelva og vannføringen i hovedelva nedstrøms samløpet.

For å si noe om den relative forskjellen i flomvannføring ved kulminasjonstidspunktet for hhv. sideelv og hovedelv, er enkelte flomhendelser analysert. Det er sett på vannføringen i hovedelva når sideelven kulminerer, og sammenlignet med kulminasjonsvannføringen i hovedelva ved samme flomhendelse. Forholdet mellom disse to vannføringene brukes til å beregne den prosentvise forskjellen av vannføringen i hovedelva ved kulminasjon i sideelven. Denne antas gyldig for alle gjentaksintervall.

Vannføringen i sideelva inn mot samløpet ved kulminasjon i hovedelva er beregnet som differansen mellom beregnet vannføring opp- og nedstrøms samløpet ved ulike gjentaksintervall.

Ved beregning av en flomsone, må dermed to ulike situasjoner sammenlignes og den som gir den høyeste vannstanden i et tverrprofil velges.

Flom i hovedelv:

Når sideelvene blir små i forhold til hovedelva, og det er flom i hovedelva har man valgt å beholde samme gjentaksintervall både oppstrøms og nedstrøms samløpet. Vannføringen i sideelven blir da differansen mellom vannføringen etter samløpet ved et gitt gjentaksintervall og vannføringen i den flomførende elva inn mot samløpet for det samme gjentaksintervallet.

Resulterende vannføringer er vist i Tabell 13. Det er lagt til grunn en vannføring på 95 % av kulminasjon i hovedelva (Verdalselv) ved fullt bidrag fra sideelven. På grunn av variasjon i dette forholdstallet under ulike flommer, stedvis dårlig datakvalitet og brudd i findata ved flomtopp på vassdragets største flom anbefales det at det utføres en følsomhetsanalyse i de hydrauliske beregningene av vannlinjen. Vannføringen i prosent

av kulminasjon i hovedelva foreslås å variere med + / - 10 % (av kulminasjon) i forhold til det som er oppgitt i Tabell 13. Forholdstallene er diskutert i avsnittene under tabellen.

Tabell 13. Samløpsproblematikk, Inna og Verdalselv, kulminasjonsvannføringer.

	%*	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Flom i Inna, hva er vannføringen i Verdalselv?										
Inna, oppstrøms samløpet med Verdalselv		230	280	329	380	453	514	582	682	768
Verdalselv, nedstrøms samløpet med Inna		608	739	869	1003	1194	1356	1535	1799	2027
Verdalselv, oppstrøms samløpet med Inna	95%	377	459	540	623	742	842	953	1117	1259
Flom i Verdalselv, hva er vannføringen i Inna?										
Verdalselv		397	483	568	656	781	886	1003	1176	1325
Verdalselv, nedstrøms samløpet med Inna		600	729	858	990	1179	1338	1515	1776	2001
Inna, oppstrøms samløpet med Verdalselv		203	246	290	334	398	452	511	599	675

* Prosentvis bidrag av maks flom i hovedelv (under samme flomepisode), når sideelven kulminerer.

Grunnlaget for sammenligningen begrenser seg med tilgang på findata, som for dette tilfelle er fra 1989-2015. For de 6 største flommene i Inna (som har data ved flomtopp) kulminerer alle mellom 0 – 4t før Verdalselv. For 2 av tilfellene kulminerer de innen samme time. Flomberegningen fra 2002, vurderte de 7 største flommene i perioden 1987-2001, og fant at Inna kulminerte 1-7t før Verdalselv.

Ved å se på de 6 største flommene ved konstruerte arbeidsserien (rett nedstrøms samløp med Inna), bidrar Verdalselv i snitt med 63-70 % av vannføringen. Dette rimer med verdiene funnet i Tabell 13, som ligger på hhv. 62% og 66%.

8. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i Verdalselva kan karakteriseres som godt, da det er flere målestasjoner i vassdraget. Alle beregninger er basert på observasjoner fra målestasjoner i vassdraget. Det er relativt små variasjoner i spesifikk middelflom i hovedelva, mens frekvensfaktorene mellom målestasjonene varierer mer. Datakvaliteten til målestasjonene er varierende, fra godt til meget dårlig for flomvannføringer.

Det er knyttet opp til ± 20 % usikkerhet ved estimering av spesifikk avrenning fra avrenningskartet. Usikkerheten vil i alminnelighet øke for avtakende feltstørrelse (Beldring m.fl., 2002).

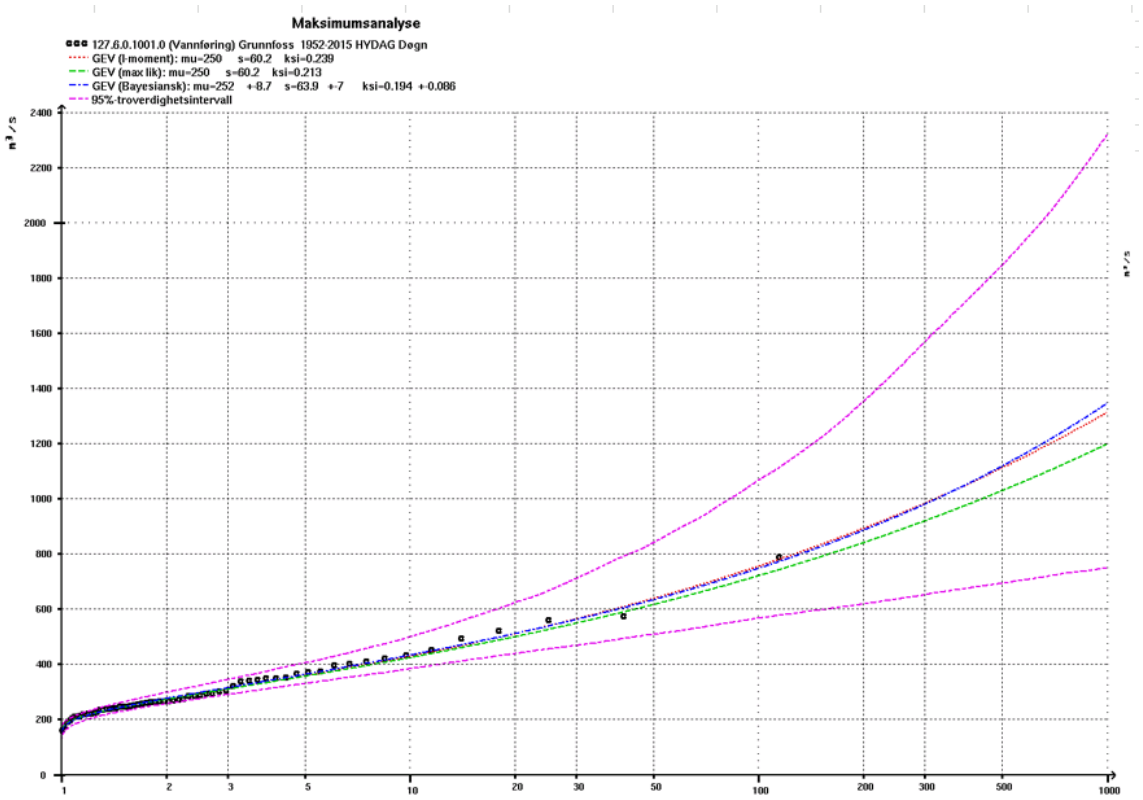
Det er også en hel del usikkerhet knyttet til frekvensanalyser av flomvannføringer. De observasjoner som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven. Men disse direkte målinger er ofte ikke utført på store flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstander og vannføringer, dvs. også ”observerte” flomvannføringer inneholder en stor grad av usikkerhet.

Hydrologisk avdelings database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er alle flomvannføringer derfor noe underestimerte, fordi største 24-timersmiddel alltid vil være større eller lik største kalenderdøgnmiddel.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at de eldste dataene i databasen er basert på én daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesninger betraktes å representere et døgnmiddel, men kan selvfølgelig avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmiddelet.

I tillegg er dataene med fin tidsoppløsning ikke kontrollerte på samme måte som døgndataene og er ikke kompletterte i tilfelle observasjonsbrudd. Det foreligger heller ikke data med fin tidsoppløsning på databasen lenger enn fra. 20-40 år tilbake for Verdalsvassdraget. Det er derfor ikke optimalt å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

Å kvantifisere usikkerheten i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig det å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Det er stor variasjon på kvaliteten på flomvannføringene ved de ulike målestasjonene som er brukt i analysen, og man har ikke lange nok dataserier for å gi sikre estimat på flommer med gjentaksintervall over 50 år. Figur 9 viser en frekvensfordeling ved Grunnfoss sammen med en Bayesiansk tilnærming, som gir mulighet for å se på et 95 % troverdighetsintervall. Figuren viser at den statistiske usikkerheten i er stor alle rede ved en 100-års flom.



Figur 9 Flomfrekvensfordeling for 127.6 Grunnfoss (døgnmiddeldata) Rød kurve viser frekvensfordeling (GEV-Max), og den grønne viser en fordeling med Bayesisansk tilnærming (GEV). De stiplede linjene viser 95-% troverdighetsintervall.

Det at det finnes målestasjon både i hovedelva og i sidevassdraget hvor man skal gjøre beregninger for, er sjeldent godt og det hydrologiske grunnlaget for flomberegningen vurderes dermed til klasse 1, på en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse. Det at det hydrologiske grunnlaget tilhører beste klasse, er *ikke* ensbetydende med at det er liten usikkerhet i flomstørrelser med høye gjentaksintervall.

Referanser

Beldring, S., Roald, L. A. og Voksø, A. (2002). Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990. NVE Dokument nr. 2 – 2002.

Drageset, T.A (2002). Flomberegning for Verdalsøra (127.Z). NVE Rapport nr. 17 – 2002.

Larsen, C. K og Sæter,B (2004). Flomsonekart, Delprosjekt Verdalsøra. NVE Rapport nr. 1 – 2004.

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

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. (2015) 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 2000: Prosjekthåndbok - Flomsonekartprosjektet. 5.B: Retningslinjer for flomberegninger.

Petterson, L-E. (2014). Aktive vannføringsstasjoner i Norge. NVE-Rapport nr.71 -2014.

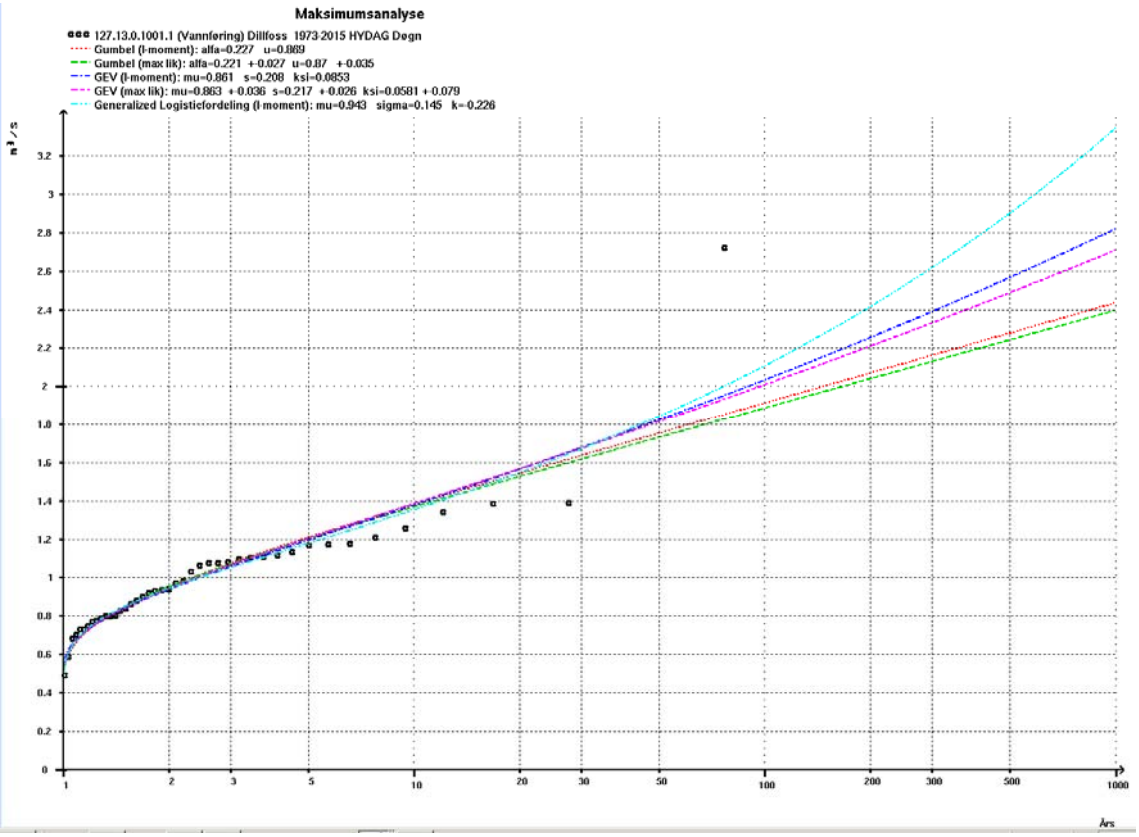
Sælthun, N. R., Tveito, O. E., Bønsnes, T. E. og Roald, L. A. (1997). Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE Rapport nr. 14 – 1997.

Vedlegg

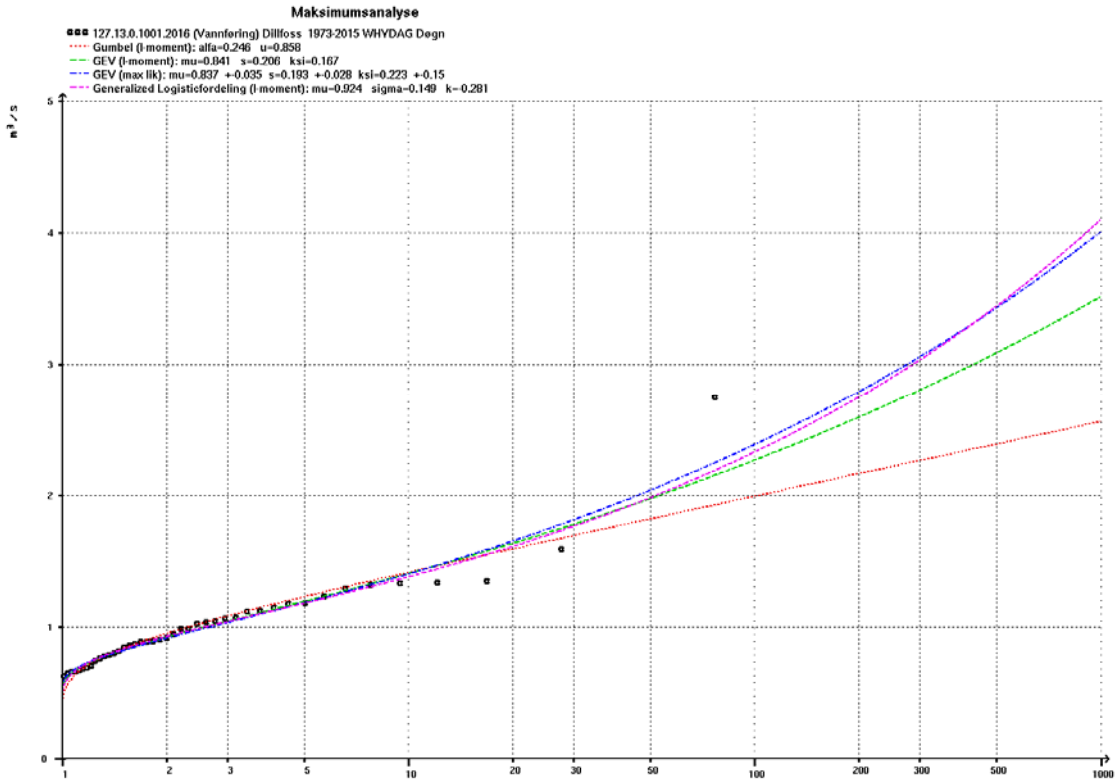
Vedlegg 1 : Frekvensfordelinger for 127.6 Grunnfoss inkl. historiske flommer fra 1932 og 1947.

Figur 10 Frekvensfordeling (GEV) for 127.6 Grunnfoss, Rød linje viser vekstkurve som inkluderer 2 historiske flommer (1931 og 1947). Svart linje viser vekstkurve uten de to historiske flommene.

Vedlegg 2: Div. frekvensanalyser i Verdalsvassdraget, 1973-2015. For perioden 1973-2015 er samme fordeling valgt for alle de tre ulike dataseriene.



Figur 11 127.13 Dillfoss 1973-2015; valgt frekvensfordeling er markert (GEV-l-moment).



Figur 12 Pkt. i Verdalselv nedstrøms samløp med Inna. 127.13.0.1001.2016 Konstruert serie, 1973-2015; valgt frekvensfaktor (GEV-l-moment).

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no