



68
2017



Rapport nr 68-2017

Samtidighetsbetrakninger for flom i Drammenselva og sidebekkene i Mjøndalen

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Per Alve Glad, Eirik Traae, Martin Jespersen

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 123

Forsidefoto: NVE

ISBN 978-82-410-1621-9

ISSN 1501-2832

Sammendrag: I tilknytning til flomsikringsprosjektet i Mjøndalen er det sett på det hydrologiske grunnlaget og de planlagte sikringstiltak. Gjennomgang av historiske data viser at det er en viss samtidighet mellom flom i Drammenselva og sidebekkene.

Emneord: Hydrologi, Flomsikring, Mjøndalen, Drammenselva, Samtidighet av flom i hovedvassdrag og sidebekker, Tidevannspåvirkning

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

August 2017

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 123
Forsidefoto: Utsnitt flomsonekart Mjøndalen. NVE
ISBN:
ISSN:

Sammendrag: I tilknytning til flomsikringsprosjektet i Mjøndalen er det sett på det hydrologiske grunnlaget og de planlagte sikringstiltak. Gjennomgang av historiske data viser at det er en viss samtidighet mellom flom i Drammenselva og sidebekkene.

Emneord: Hydrologi, Flomsikring, Mjøndalen, Drammenselva, Samtidighet av flom i hovedvassdrag og sidebekker, Tidevannspåvirkning

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575
E-mail: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

August 2017

Innhold

Forord	4
Sammendrag	6
1 Bakgrunn.....	7
2 Hydrologiske grunnlagsdata	9
2.1 Beskrivelse	9
2.2 Historiske flommer	9
2.2.1 Flommen i 1927	9
2.2.2 Flommen i juni 1926.....	13
2.2.3 Flommen i juli 2007	14
2.2.4 Flommen i august 2012 «Frida».....	15
2.2.5 Flommen «Synne» i desember 2015 på Sør-Vestlandet	16
2.3 Flomberegning for to av sidebekkene i Mjøndalen	16
2.3.1 Evja.....	16
2.3.2 Hagatjernbekken.....	18
2.4 Flomberegning Drammenselva	19
2.5 Samtidighet.....	21
2.6 Tidevannshensyn.....	24
2.7 Oppsummering	24
3 Følsomhetsanalyse for Evja	25
4 Vedlegg.....	28
5 Referanser	29

Forord

Flomsonekartet for Mjøndalen ble utgitt av NVE i 2005. Siden 2006 har NVE sammen med Nedre Eiker kommune jobbet med å utrede mulige sikringstiltak for å begrense skadene ved en større flom. Den første konseptplanen ble utarbeidet i 2007 av Dr. Blasy-Dr. Øverland.

I 2012 var det en kraftig lokal nedbørsepisode. Ekstremværet fikk navnet FRIDA og for sidevassdragene var dette i størrelsesorden en 200 års flom. Dette satte nå mer fokus på utfordringene med ekstremflom i sidebekkene. I 2015 kom en ny konseptplan fra Dr. Blasy-Dr. Øverland som også tok med seg sikring av sidebekkene mot en 200 års flom.

Gjennom det videre arbeidet med sikringstiltakene har det blitt jobbet en del med utfordringene med samtidighet for flommer i sidebekkene og hovedvassdraget.

Oslo, august 2017



Seksjonssjef
Sverre Husabye



Regionsjef

Anne Cathrine Sverdrup

Sammendrag

200 års flom i sidebekkene uten flom i Drammenselva

Flommen Frida i august 2012 er vurdert av NVE til å være en 200 års flom i sidebekkene. Dette tilsvarer en spesifikk avrenning på $1,7 - 2,2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ for Evja og Krokstadbekken.

Flom i Drammenselva og sidebekkene – kombinert 200 års hendelse.

Formålet med denne rapporten er å se nærmere på samtidigheten mellom flom i Drammenselva og flom i sidevassdragene i Mjøndalen. Betrachtingene skal gi en anbefaling om hvilket hydrologisk grunnlag som bør legges til grunn for dimensjonering av flomsikringstiltak i Mjøndalen.

For å ha best mulig statistisk grunnlag for den endelige dimensjoneringen av pumpestasjoner som en del av flomsikringstiltakene i Mjøndalen, er det i forbindelse med denne rapporten gjennomført ytterligere analyser av samtidighet og flomstørrelser i sidevassdrag og Drammenselva ut over de som ligger til grunn i forprosjektet av 20.04.2015 fra konsultentselskapet Dr. Blasy-Dr Øverland. Disse analysene er basert på en til dels større datamengde, fra hhv flere målestasjoner og lengre måleserier.

Vi har lange tidsserier for vannføringen i Drammenselva, men vi har ikke tilsvarende dataserier som er representative for sidebekkene. Det er imidlertid sett på flomdata og nedbørtall fra flommene i 1926 og 1927. Analysene viser at det var flom i sidebekkene i Mjøndalen under disse hendelsene samtidig som Drammenselva lå over både kote 3 og 4 (NN2000). Dette viser at det er en viss samtidighet mellom flommene i sidevassdragene og Drammenselva. Beregning av en samlet 200 års hendelse er derfor vanskelig da det ikke kan betraktes som uavhengige hendelser.

Tar en utgangspunkt i flomhendelsen i 1927 har den en vannstand i Drammenselva som er i størrelsesorden en 100 års flom og i sidebekkene var den i størrelsesorden en 10 års flom. Vi mener dette kan være et eksempel på en 200 års hendelse.

For dimensjoneringen av sikringstiltakene i Mjøndalen anbefaler vi at en antar at sidebekkene vil nå flomvannføringer med gjentaksintervall rundt 10 år under en hendelse hvor Drammenselva når 100-200 års-flommen. Dette vil si rundt $15 \text{ m}^3/\text{s}$ for Evja og $9 \text{ m}^3/\text{s}$ for Hagatjernbekken ved innløpet til Miletjern

Det er gjennomført en følsomhetsanalyse på ulike vannføringer i Evja mot ulike vannstander i Drammenselva i kap. 3.

1 Bakgrunn

Kort historikk

Flomsonekartet for Mjøndalen ble utgitt av NVE i 2005. Siden 2006 har NVE sammen med Nedre Eiker kommune jobbet med å utrede mulige sikringstiltak for å begrense skadene ved en større flom. Den første konseptplanen ble utarbeidet i 2007 av Dr. Blasy-Dr. Øverland.

I 2012 var det en kraftig lokal nedbørsepisode. Ekstremværet fikk navnet FRIDA og for sidevassdragene var dette i størrelsesorden en 200 års flom. Dette satt nå mer fokus på utfordringene med ekstremflom i sidebekkene. Dr. Blasy-Dr. Øverland kom med en ny konseptplan datert 20.04.2015 som også tok med seg sikring av sidebekkene mot en 200 års flom.

Som en del av arbeidet med den samlede konseptplanen, datert 20.04.2015 for flomsikring av Mjøndalen har konsultentselskapet Dr. Blasy – Dr. Øverland utført en rekke analyser på vannstander og vannføring i hhv. sidevassdrag og Drammenselva

Formålet

Formålet med denne rapporten er å se nærmere på samtidigheten mellom flom i Drammenselva og flom i sidevassdragene i Mjøndalen. Betrakningene skal gi en anbefaling om hvilket hydrologisk grunnlag som bør legges til grunn for dimensjonering av flomsikringstiltak i Mjøndalen.

For å ha best mulig statistisk grunnlag for dimensjonering av mulige pumpestasjoner som en del av flomsikringstiltakene i Mjøndalen, er det i forbindelse med denne rapporten gjennomført ytterligere analyser av samtidighet og flomstørrelser i sidevassdrag og Drammenselva ut over de som ligger til grunn i forprosjektet av 20.04.2015 fra konsultentselskapet Dr. Blasy-Dr Øverland. Disse analysene er basert på en til dels større datamengde, fra hhv flere målestasjoner og lengre måleserier.

Arbeidsgruppen

I februar 2016 ble det satt ned en arbeidsgruppe med følgende personer:

Nils Roar Sælthun	Konsulent
Per Alve Glad	NVE
Martin Jespersen	NVE
Eirik Traae	NVE

Det har vært avholdt flere arbeidsmøter hvor en i fellesskap har diskutert utfordringene rundt samtidighet og hvordan vi best dokumenterer det. Det har også vært et nært samarbeid utenom arbeidsmøtene. Det har vært kontakt med andre fagpersoner utenfor arbeidsgruppen, spesielt mhp statistikk.

«Flomsikringsprosjektet» arrangerte et møte 9 nov. 2016 i NVE sine kontorlokaler på Hokksund. Fra arbeidsgruppen deltok Per Alve Glad, Martin Jespersen og Eirik Traae og gikk gjennom resultatene fra arbeidet.

I slutfasen med rapporten har Harald Sakshaug NVE og Turid Bakken Pedersen NVE bidratt med innspill. De representerer prosjektledelsen i prosjektet for flomsikring Mjøndalen.

2 Hydrologiske grunnlagsdata

2.1 Beskrivelse

I forprosjektet av 20.04.2015 fra konsultentselskapet Dr. Blasy-Dr Øverland foreligger det planer for flomsikringstiltak i Mjøndalen sentrum som inkluderer flomluker som stenges når vannstanden i Drammenselva blir stor og hvor vannet fra sidebekkene skal pumpes ut i Drammenselva. Et viktig aspekt i beregningen av pumpekapasitet, er å se på sannsynlighet for samtidighet av flom i Drammenselva og sidebekkene. Det er liten tvil om at flommer i Drammenselva og sidebekker innehar en viss grad av avhengighet. Det er den samme nedbøren som bidrar til flom i hovedelv og sidebekker. Det er imidlertid mange andre faktorer enn nedbør som spiller vesentlige roller i denne problemstillingen og som gjør det svært utfordrende å regne på sannsynlighet direkte. Eksempelvis vil det i regulerte vassdrag som Drammenselva være helt avgjørende hvordan magasinfyllingen er i forkant av en nedbørhendelse og også fordelingen av nedbøren gjennom hendelsen vil også være styrende. Stort sett vil magasinfyllingen være høyere om høsten enn om våren og sånn sett vil Drammenselva være mer sårbar for rene regnflommer om høsten enn om våren. For små nedbørfelt er det i all hovedsak intens nedbør som gir store flommer, mens det for Drammenselva sin del vil være store nedbørmengder over lengre tid (gjerne kombinert med snøsmelting) som vil gi de største flommene. Tidevann og stormflo er også svært avgjørende for vannstanden i nedre deler av Drammenselva.

2.2 Historiske flommer

2.2.1 Flommen i 1927

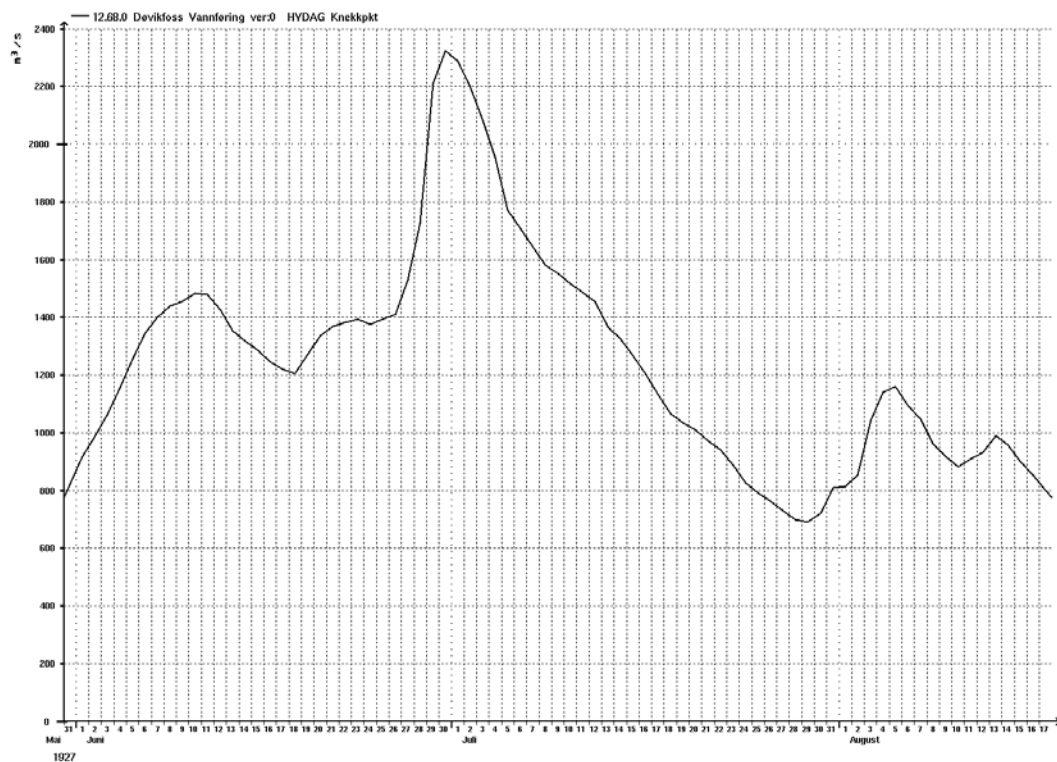
Vårflommen i 1927 oppsto som en følge av sen og kraftig smelting av snøen kombinert med store nedbørmengder i slutten av juni. Flommen er den største som er registrert ved vannmerket 12.68 Døvikfoss og etter beregninger utført for Drammensvassdraget av Drageset i 2001 tilsvarende dette ca en 100-200 årsflom (høyeste døgnverdi ved Døvikfoss var 2325 m³/s). Det bør imidlertid påpekes at reguleringen av Drammensvassdraget ikke var den samme i 1927 som den er i dag, og det forventes at flommen hadde blitt noe mindre med dagens reguleringsystem i forhold til 1927. Per dags dato er det følgende reguleringsgrad som gjelder. Reguleringsgrad areal = 0,91 og reguleringsgrad magasin = 0,29. Når det gjelder reguleringsgraden i 1927 var den lavere enn i dag, men å fastsette et tall på dette vil kreve en grundig gjennomgang av historiske konsesjonssaker. Figur 1 viser vannføringen ved Døvikfoss i perioden 31.05.1927 – 17.08.1927. Gjennom denne perioden lå Drammenselva over kote 2 (ca 1000 m³/s) i ca 6 uker og over kote 3 (ca 1500 m³/s) i ca 2 uker (27.06 – 11.07). Det er forholdsvis sparsommelig med nedbørdata i Drammensvassdraget i dette tidsrommet, men Meteorologisk Institutt hadde en del manuelle målestasjoner også i 1927 på Østlandet som kan illustrere utbredelsen av de store nedbørmengdene (nedbørstasjonene er vist i Figur 2). Av nedbørdataene er det verdt å merke seg at nedbørdøgnet 29.06 er det kraftigste selv om det også regnet godt de foregående dagene. Før dette nedbørdøgnet var imidlertid vannstanden i Drammenselva over kote 3 (1500 m³/s ved Døvikfoss). Følgelig er det interessant å se om det kan forventes at det samtidig var flom i sidebekkene i Mjøndalen. Med ca 50mm nedbør i de to dagene før 29.06.1927 syntes ikke urimelig å anta at bakken er forholdsvis våt og at

vannføringen var noe over normalen. De tre nedbørstasjonene som ligger nærmest Mjøndalen og som hadde observasjoner i 1927 er Blektjern ved Drammen som målte 79mm, Ytre Sandsvær i Kongsberg kommune som målte 94,5mm og Besstul i Gjerpen som målte 88,9mm. Om en aksepterer at disse tre målestasjoner er representative for Mjøndalen, kan en for eksempel bruke snittnedbøren som et estimat for døgnnedbøren denne dagen. Dette gir en døgnnedbør for sidebekkene i Mjøndalen på 87mm. Hvor stor vannføring dette vil gi i sidebekkene vil naturligvis være avhengig av fordelingen på nedbøren gjennom døgnet, og dette har vi ikke informasjon om. Det som imidlertid går an er å se på flommer i senere tid og se hva slags nedbørverdier som har gitt hvilke flomstørrelser. Vårflommen i mai 2013 (Figur 16) var ved Fiskum en tilnærmet ren regnflom (for Drammenselva var det betydelig bidrag fra snøsmelting). Nedbøren som er registrert ved Kongsberg brannstasjon og Hokksund i tilknytning til denne flommen er henholdsvis 62mm på 48 timer og 50mm på 48 timer. Med disse nedbørmengdene gikk Fiskum flomstor med et gjentaksintervall på ca 15 år.

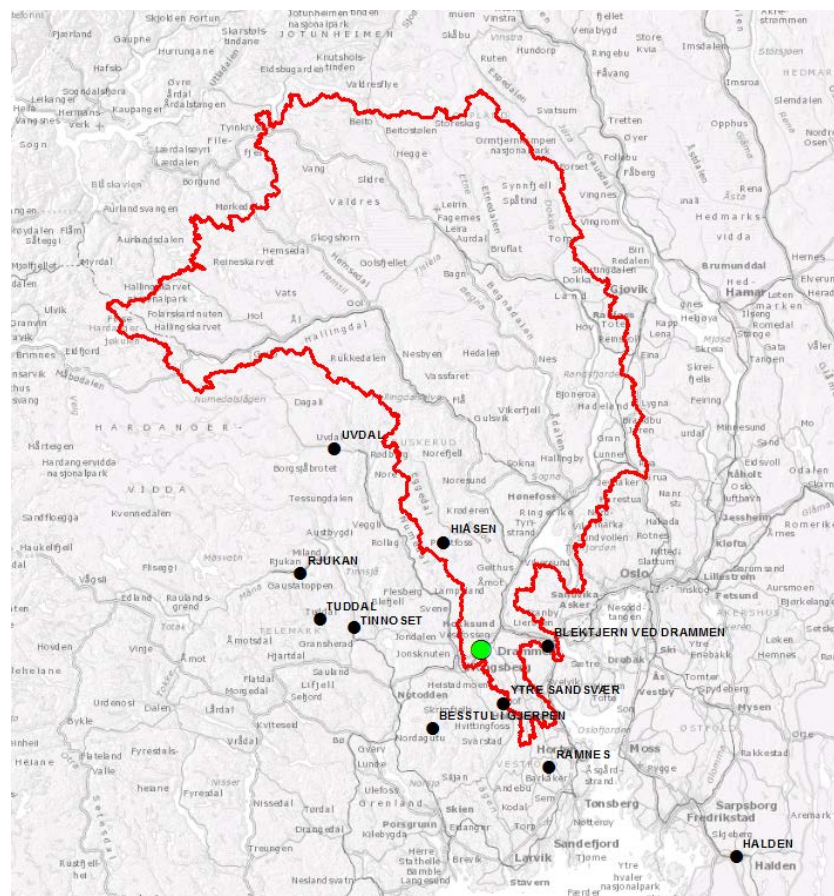
Ved å kjøre nedbør-avløpsmodell (PQRUT) for Evja og Hagatjernbekken med jevn nedbør over hele døgnet (som forventes å gi den laveste flommen) kommer fortsatt begge sidebekkene opp i flomverdier under denne hendelsen (Figur 3 og Figur 4). Fra modellkjøringene får en flomverdier i Evja på ca 970 l/s*km² og Hagatjernbekken på ca 800 l/s*km² som antas å være forholdsvis lave estimater på grunn av måten nedbørforløpet er konstruert på. Det er i tilknytning til flomsonekartprosjektet satt opp hydraulisk modell for nedre deler av Drammensvassdraget. Denne ble brukt for å forsøke å si noe om vannstanden ved Mjøndalen bru under flommen i 1927. Som inngangsdata til modellene ble observasjonene for Døvikfoss kombinert med et skalert tilløp for Vestfossen, mens det ble brukt konstante bidrag (forholdsvis lave) for Hoenselva, Krokstadbekken, samt lokalfeltene nedstrøms Hellefoss. Modellen ble kjørt med 4 tidevannsscenarier (1.54 moh, 1.39 moh, 0.8 moh og 0 moh). Resultatene fra kjøringen er gitt i figur 5 og de antyder at flommen i 1927 kulminerte (døgn) mellom 4,42-4,18 moh ved Mjøndalen bru. Det er interessant å se at 154 cm forskjell i vannstand ved Drammen havn kun gir en forskjell på 24 cm ved Mjøndalen bru. Ifølge historiske data for vannstand i Drammen havn var høyeste stormflo i året 1927 3 oktober og høyeste vannstand den dagen var 1,52 moh (NN2000) (www.drammenhavn.no). I etterkant av flommen i 1927 ble det utført nivellering av kulminasjonsvannstander ved forskjellige punkt i vassdraget. Følgelig er det interessant å sammenligne disse med hva den rekonstruerte flommen gir. Tabell 1 gir vannstanden fra nivelleringskjemaet og simulert vannstand med 4 forskjellige tidevannsscenarier ved forskjellige lokasjoner langs nedre deler av Drammenselva.

Tabell 1. Viser vannstand fra nivelleringskjema sammenlignet med simulert vannstand med fire forskjellige tidevannsscenarier

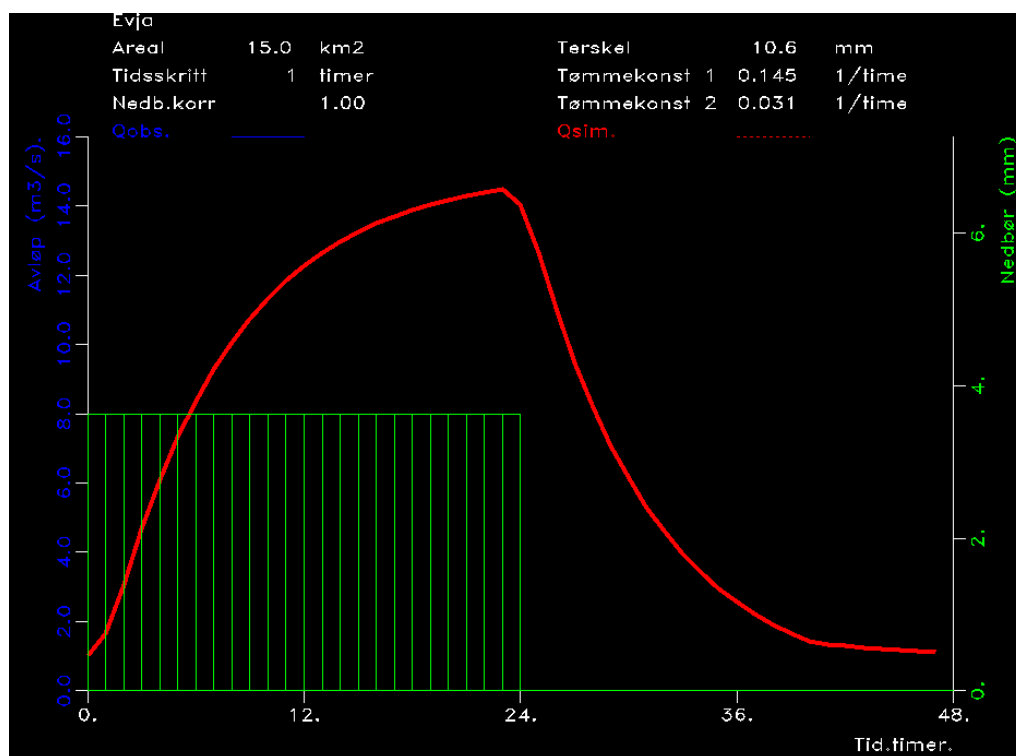
Stedsangivelse	Vannstand (NN2000)	Maks simulert VST døgn (tidevann 0-154cm)
Flommerke Hellefoss nedenfor	5,49	5,91-6,0
Flommerke Hokksund stasjon	5,13	5 - 5,15
Flommerke Steinberg stasjon	4,47	4,46 - 4,68
Flommerke Nedre Eiker kirke	4,03	3,65 - 3,94



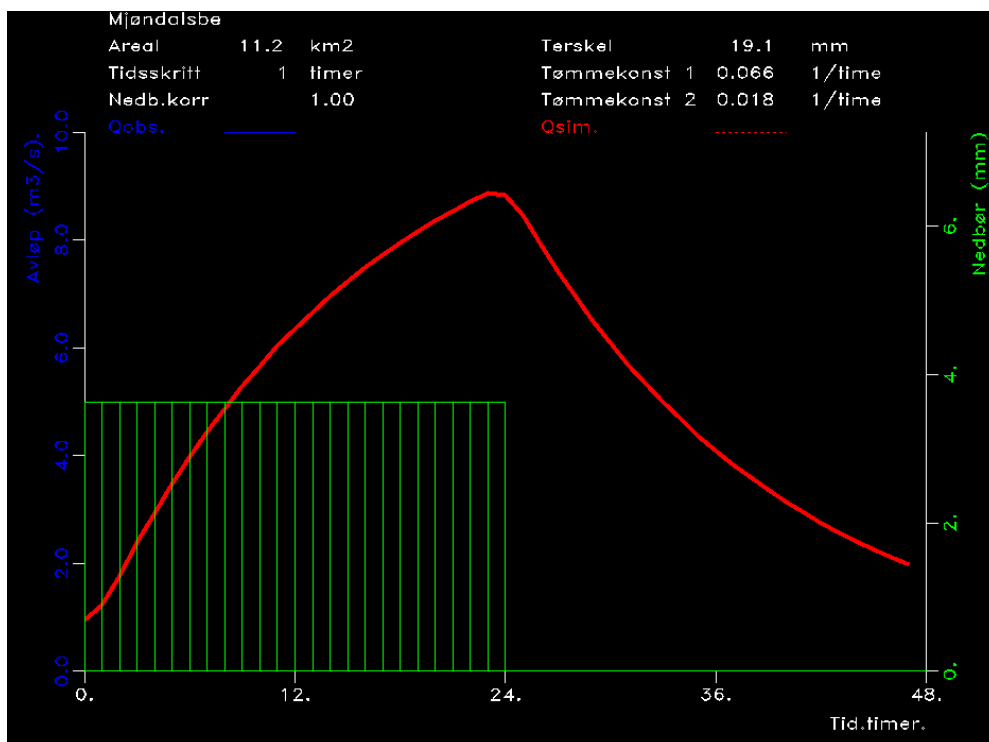
Figur 1. Viser Drammenselva ved Døvikfoss under vårflommen i 1927



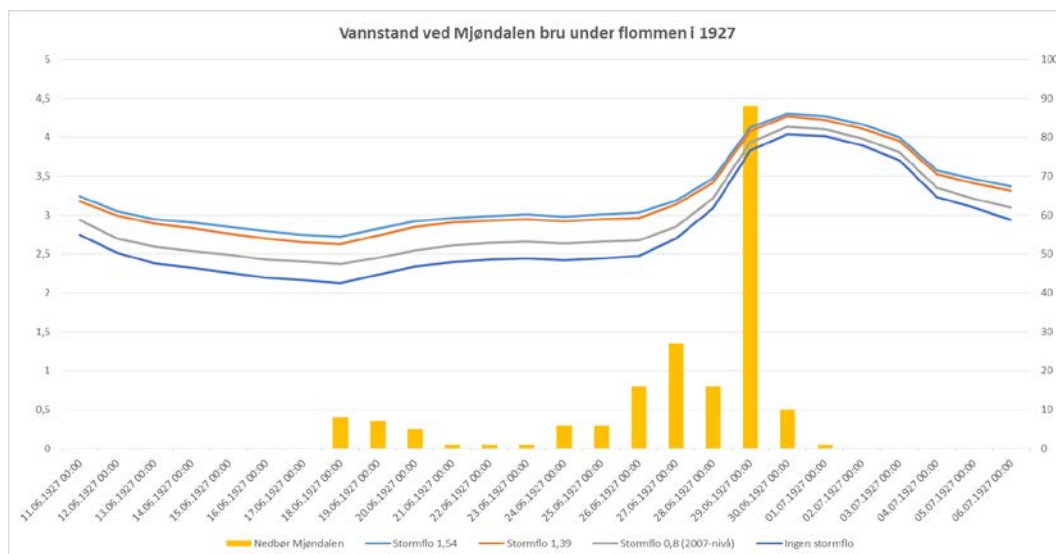
Figur 2. Viser nedbørstasjoner som observerte nedbør under flommen i 1927



Figur 3. Flomforløp for Evja for 1927-flommen med "gunstig" nedbørforløp



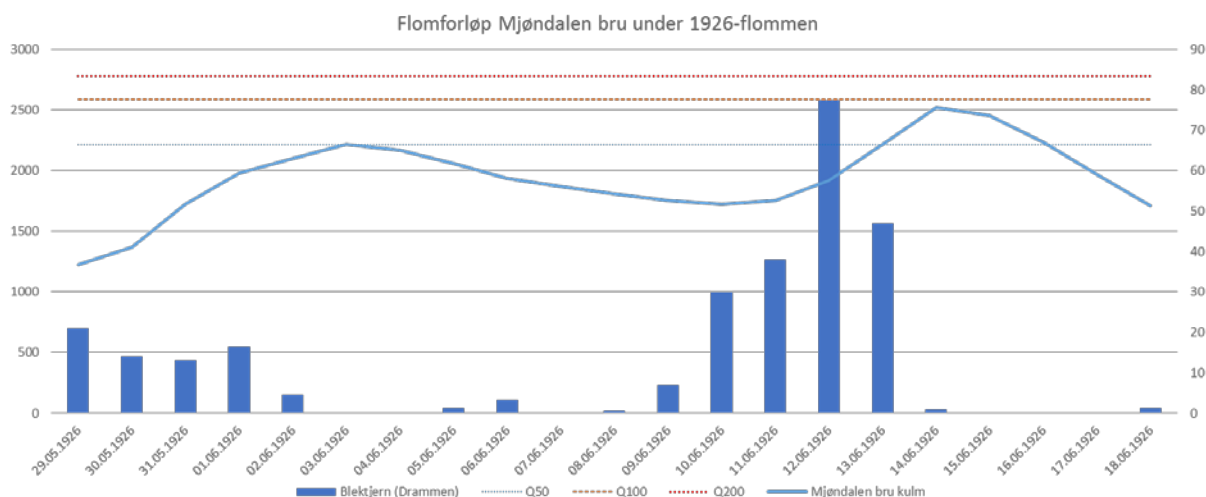
Figur 4. Flomforløp for Hagtjernbekken for 1927-flommen med "gunstig" nedbørforløp



Figur 5. Simulert vannstand ved Mjøndalen bru under flommen i 1927 med 4 forskjellige tidevannsscenarioer kombinert med observert nedbør (døgnoppløsning)

2.2.2 Flommen i juni 1926

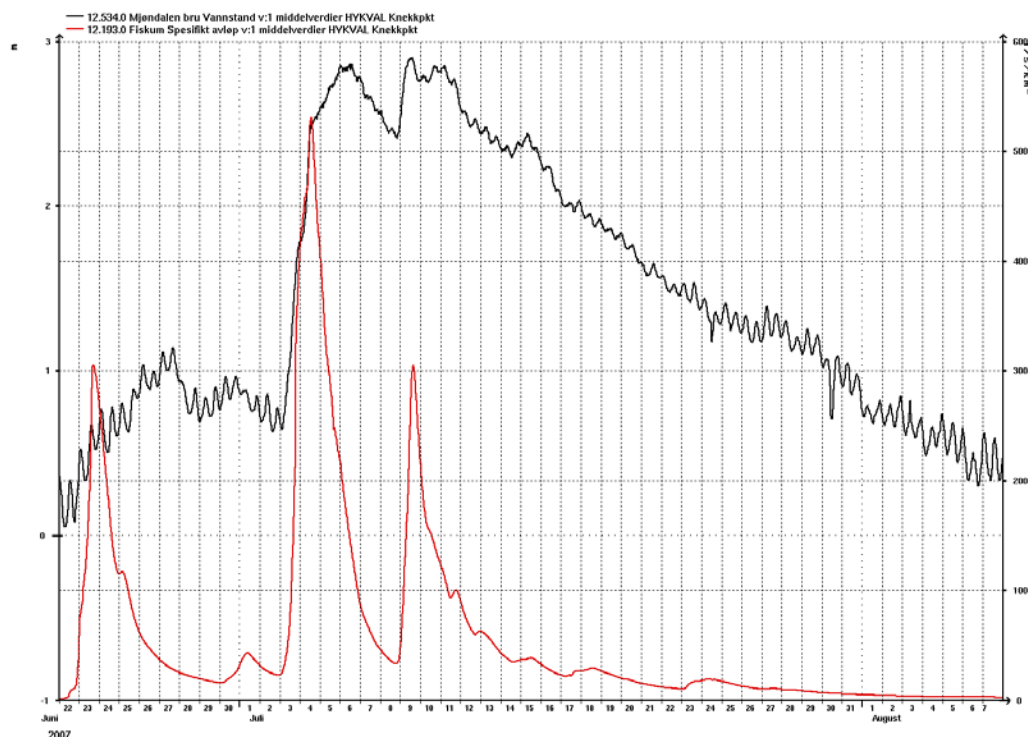
Flommen i juni 1926 oppsto som følge av sen og kraftig snøsmelting kombinert med store nedbørmengder. Vannmerket 12.68 Døvikfoss har observasjoner fra 1912 og er fortsatt i drift i dag. Flommen i 1926 er den neststørste i måleperioden kun overgått av flommen i 1927. Tilsvarende som flommen i 1927 oppsto flommen som følge av at det kom store nedbørmengder mot slutten av en sen og kraftig smelteperiode hvor Drammenselva allerede hadde stor vannføring. Figur 6 viser flomforløpet i juni 1926 sammen med observert nedbør ved Blektjern (Drammen). Under flommen lå vannføringen over $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ved Døvikfoss i over 3 uker og den kulminerte 14.06 på ca $2285 \text{ m}^3/\text{s}$. Med gjeldene flomberegning for Drammenselva gir dette et gjentakintervall på ca 80 år. Det kraftigste nedbørdøgnet under denne hendelsen var 12.06 hvor det ble observert 78 mm på målestasjon Blektjern (Drammen). Rekonstruksjon av denne flommen tyder på at vannstanden ved Mjøndalen bru før dette nedbørdøgnet var på 3,2-3,5 moh. Utover nedbørdøgnet 12.06 var det også betydelig nedbør i døgnene før og etter 12.06. 10, 11 og 13 juni ble det registrert henholdsvis 30, 38 og 47 mm nedbør. Kulminasjonsvannstanden ved Mjøndalen bru 14.06.1926 var på ca 4,32-4,08 moh.



Figur 6. Vannføring for Drammenselva under flommen i 1926 sammen med observert nedbør ved Blektjern (Drammen)

2.2.3 Flommen i juli 2007

Flommen i juli 2007 var en følge av vedvarende store nedbørmengder. Det var også bidrag fra snøsmelting, spesielt fra de øvre delene av nedbørfeltet. Nedbøren og snøsmeltingen medførte omfattende flomskader i områdene langs Drammensvassdraget og Numedalslågen. Det var blant annet stengte veier i Eiker, Eggedal og Hallingdal, samt flomskader i Valdres. Under denne flommen lå Drammenselva over kote 2 (ca 1000 m³/s ved Mjøndalen bru) i litt over 2 uker (03-19 juli 2007) og i dette tidsintervallet hadde Fiskum to flomtopper (Figur 7). Den største flomtoppen ved Fiskum (530 l/s*km²) ble registrert 4 juli og vannføringen i Drammenselva ved Mjøndalen bru Fiskum kulminerte var ca 1450 m³/s (ca 2,5 moh). Dette er den tredje største vannføring som er målt ved Fiskum siden observasjonene begynte i 1976. Tett på kulminasjonstidpunktet for denne flommen var det en relativt lokal nedbørepisode hvor det ble målt 80 mm på to timer på nedbørmåleren til Nedre Eiker kommune på teknisk sentral i Mjøndalen.



Figur 7. Viser samtidig flom i Drammenselva ved Mjøndalen bru og Fiskum under flommen i juli 2007

2.2.4 Flommen i august 2012 «Frida»

Ekstremværet «Frida» i august 2012 medførte omfattende flomskader og mange skred over store deler av Sør- og Østlandet. Hardest rammet var en smal sone i kommunene Modum, Øvre Eiker og Nedre Eiker i Buskerud og Hof, Holmestrand og Re i Vestfold (Beldring mfl., 2012). Flere kilder tyder på at det i området med maksimum nedbør kan ha falt 70-130 mm i løpet av kvelden 6. august (Lundquist, 2012). I området rundt Krokstadelva og Mjøndalen kan det ha kommet 70 mm nedbør i løpet av 40 minutter rundt kl. 22:00 (met.no info nr. 15, 2012). På Nedre Eiker kommune sin nedbørmåler på teknisk sentral i Mjøndalen ble det registrert 115 mm nedbør på 2 timer kvelden 6 august 2012 og 140 mm på et døgn. De store vannmassene medførte oversvømmelser og omfattende skader på bygninger og infrastruktur.

Jespersen (NVE - Teknisk notat 01-2012) har på grunnlag av observerte kulminasjonsvannstander i Krokstadbekken og i utløpet av Evja beregnet kulminasjonsvannføringen under «Frida».

Nedbørfelt - Beregningspunkt	Areal	Vannføring Frida	Spesifikk vannføring
Krokstadbekken (Lysakerveien 9)	17,5 km ² (i flom)	38 - 39 m ³ /s	2200 l/(s*km ²)
Evja (Utløpet i Drammenselva)	15,0 km ²	25 -27 m ³ /s	1700 l/(s*km ²)

Fiskum kulminerte under denne flommen på ca 580 l/s*km^2 som er den neste høyeste i måleperioden.

Nedbørepisoder som «Frida» gir svært stor avrenning i små nedbørfelt, men vil kun medføre utfordringer for systemet «Drammenselva med sidebekker» dersom vannføringen i Drammenselva er stor i utgangspunktet. Det var ikke tilfellet i august 2012 og under dette regnskyttet kulminerte Drammenselva ved Mjøndalen bru på ca $860 \text{ m}^3/\text{s}$ og kote 1,4 m som ikke engang tilsvarer middelflommen.

2.2.5 Flommen «Synne» i desember 2015 på Sør-Vestlandet

Denne hendelsen er lite aktuell for Drammensvassdraget i vinterhalvåret. Denne typen værssystemer forventes ikke å nå langt nok øst til å true Drammensvassdraget. Såkalte Vb lavtrykk som kan sees på som værssystemer som vil kunne gi «Synne»-nedbør på Østlandet er avhengig av varmluft på kontinentet for å dra med seg fuktighet fra Middelhavet. Som oftest vil det være for kaldt for at luften skal ta med seg de helt store nedbørmengdene fra desember og utover vinteren.

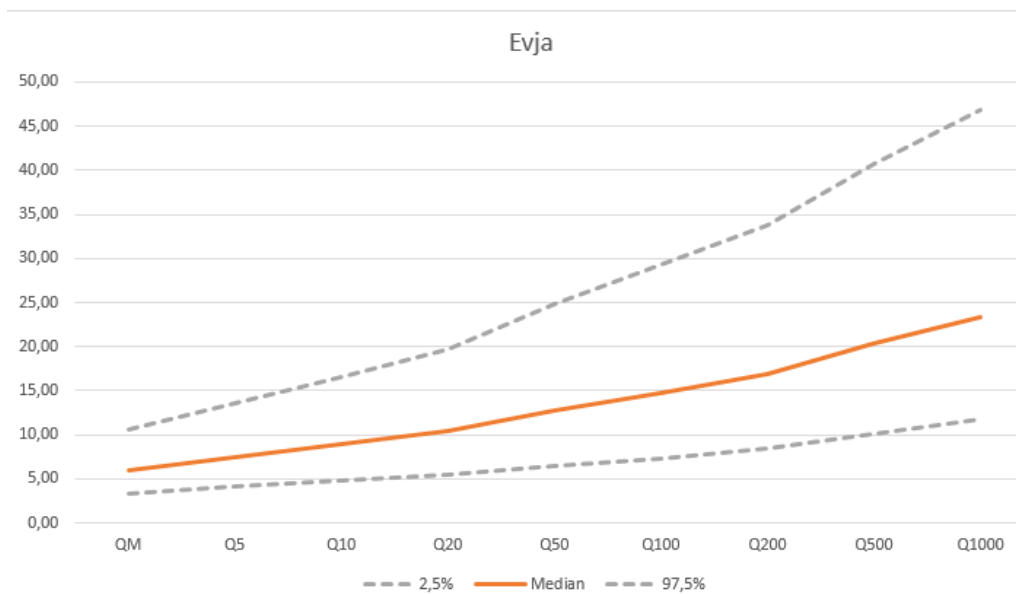
2.3 Flomberegning for to av sidebekkene i Mjøndalen

2.3.1 Evja

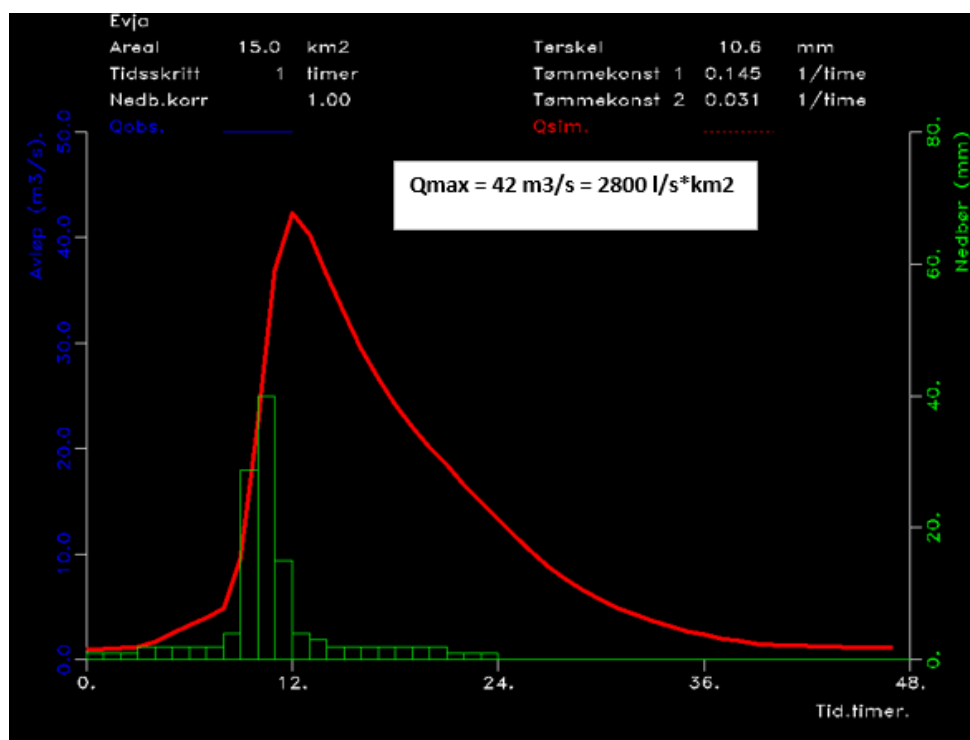
Det er utført flomberegning for Evja som har utløp i Drammenselva rett oppstrøms Mjøndalen bru. Evja har et nedbørfelt på 15 km^2 og er dominert av skog i de øvre delene av nedbørfeltet. De nedre delene domineres av dyrket mark og urbane arealer ved utløpet. Det er lav grad av naturlig dempning i feltet. Flomberegningen er utført ved bruk av formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt (Glad mfl., 2015) og nedbør-avløpsmodellen PQFLOM. Resultatet fra formelverket er gitt i Figur 8 og medianestimatet for 200-årsflommen er på $17 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1130 \text{ l/(s*km}^2)$). Usikkerheten i formelverket tilsier at 200-årsflommen ligger mellom $9\text{--}34 \text{ m}^3/\text{s}$. Resultatet fra nedbør-avløpsmodellen er gitt i Figur 9. Flomverdien fra nedbør-avløpsmodellen ($42 \text{ m}^3/\text{s}$) ligger langt over medianestimatet fra formelverket og også utenfor usikkerhetsbåndet (95%-konfidensintervall). Resultatet kan tyde på at medianestimatet fra formelverket for Evja ligger noe lavt og bør ligge oppunder øver kurve.

I notatet til Jespersen (NVE - Teknisk notat 01-2012) er det regnet på flomstørrelsen i Evja og i Krokstadbekken under «Frida» basert på vannstandsobservasjoner i terrenget. Krokstadbekken har svært tilsvarende nedbørfelt som Evja og spesifikk avrenning under «Frida» ble da regnet til henholdsvis $1700 \text{ l/(s*km}^2)$ og $2200 \text{ l/(s*km}^2)$.

Basert på de ulike tilnærmingene som er beskrevet over setter vi Q200 lik «Frida» og dette tilsvarer tilnærmet øvre kurve for formelverket.



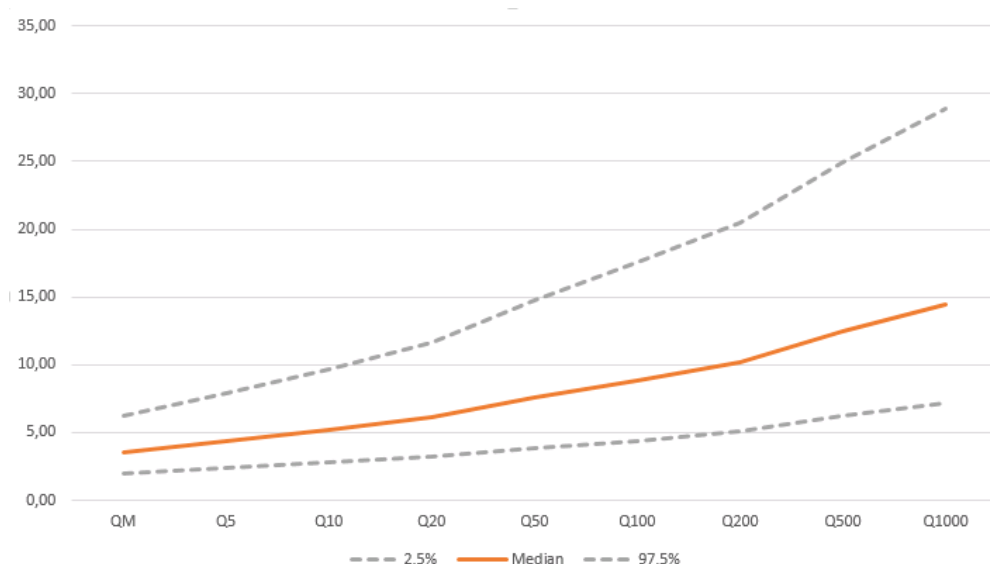
Figur 8. Flomestimer for Evja ved bruk av formelverk for små nedbørfelt



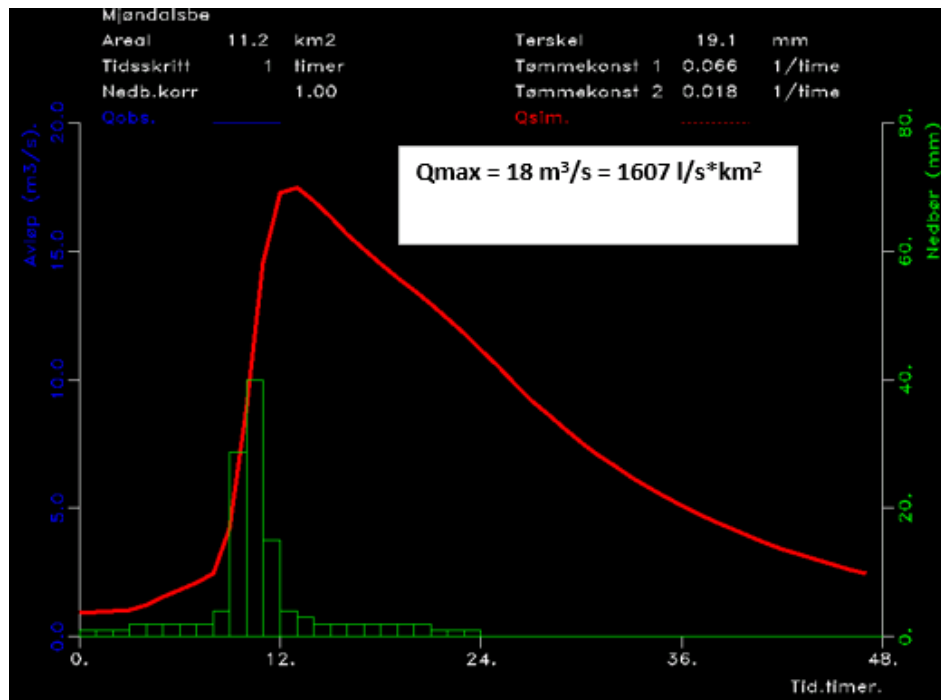
Figur 9. 200-års flomestimat for Evja ved bruk av PQFLOM

2.3.2 Hagatjernbekken

Det er utført flomberegning for Hagatjernbekken rett oppstrøms Miletjern. Hagatjernbekken har her et nedbørfelt på 11 km² og er dominert av skog. De nedre delene domineres av urbane arealer. Den østre delen av nedbørfeltet forventes å ha en forholdsvis høy grad av naturlig flomdempning gjennom Hagatjern. Flomberegningen er utført ved bruk av formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt (Glad mfl., 2015) og nedbør-avløpsmodellen PQFLOM. Resultatet fra formelverket er gitt i Figur 10 og medianestimatet for 200-årsflommen er på 10 m³/s (900 l/(s*km²)). Usikkerheten i formelverket tilsier at 200-årsflommen ligger mellom 5-20 m³/s. Resultatet fra nedbør-avløpsmodellen er gitt i Figur 11. Flomverdien fra nedbør-avløpsmodellen ligger tett opp mot 97,5-persentilen fra formelverket i Figur 10 og gir 18 m³/s som 200-årsestimat. Resultatet kan tyde på at medianestimatet fra formelverket for Mjøndalen ligger noe lavt. For Hagatjernbekken – ved innløpet til Miletjern - settes 200-årsflommen til 18 m³/s (1600 l/(s*km²)).



Figur 10. Flomestimer for Hagatjernbekken ved bruk av formelverk for små nedbørfelt.

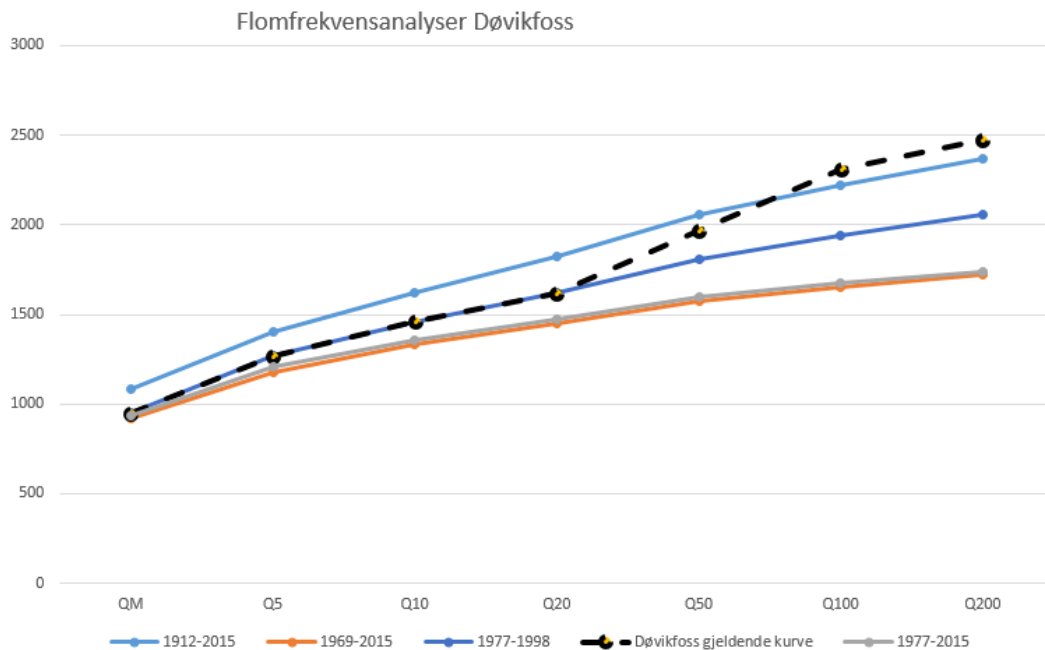


Figur 11. 200-års flomestimat for Hagatjernbekken ved bruk av PQFLOM

2.4 Flomberegning Drammenselva

Det er utført flomberegning for Drammenselva ved Døvikfoss. Beregningen er utført med samme tilnærming som Drageset i 2001. Det vil si at flomfrekvensanalysen deles i to deler. En del som beskriver den nedre delen av frekvenskurven (kun observasjoner etter siste store utbygging inngår), og en del som beskriver den øvre delen av frekvenskurven (hele observasjonsperioden inngår for å beskrive at vassdraget antas å gå mot tilnærmet uregulert tilstand under de virkelig store flommene). Det foreligger nå 15 år mer med data enn det gjorde i 2001 og det er utført ny flomfrekvensanalyse som inkluderer disse årene. Figur 12 og Tabell 2 viser resultater fra flomfrekvensanalyser utført for forskjellige perioder, samt den gjeldene kurven for dagens flomsonekart (sort stiplet linje). Resultatene viser at flomestimatene blir lavere både for regulert periode (1977-d.d.) og for hele observasjonsperioden (1912-d.d.) ved å inkludere de siste 15 årene med data. For den regulerte delen av kurven (opp til ca 50 års gjentakintervall) blir eksempelvis Q20 10% lavere ved å inkludere de siste 15 årene med data. Resultatene fra frekvensanalysen for hele observasjonsperioden blir 4% lavere for Q200 ved å inkludere de siste 15 årene med data. Dette er ikke overraskende ettersom en inkluderer en lengre periode med regulerte data enn det som var tilgjengelig i 2001. Dette kan tyde på at antagelsen om at vassdraget vil oppføre seg nærmest uregulert for de virkelig store flommene (eksempelvis 200-årsflommen) muligens ikke er helt realistisk. Det kan her også nevnes at den største flommen etter at utbyggingen i vassdraget avtok kraftig (slutten av 70-tallet) fant sted i juli 2007 (Figur 13). Flommen kulminerte den gang rett under 1500 m³/s ved Døvikfoss. Ifølge gjeldene frekvenskurve for Drammenselva (flomsonekartet) har flommen i 2007 et gjentakintervall på rett over 10 år. At den største flommen de siste 40 årene kun har et gjentakintervall på rett over 10 år kan også være et tegn på at gjeldene kurve er noe konservativ. Det anbefales imidlertid ikke på det nåværende tidspunkt å endre verdien for

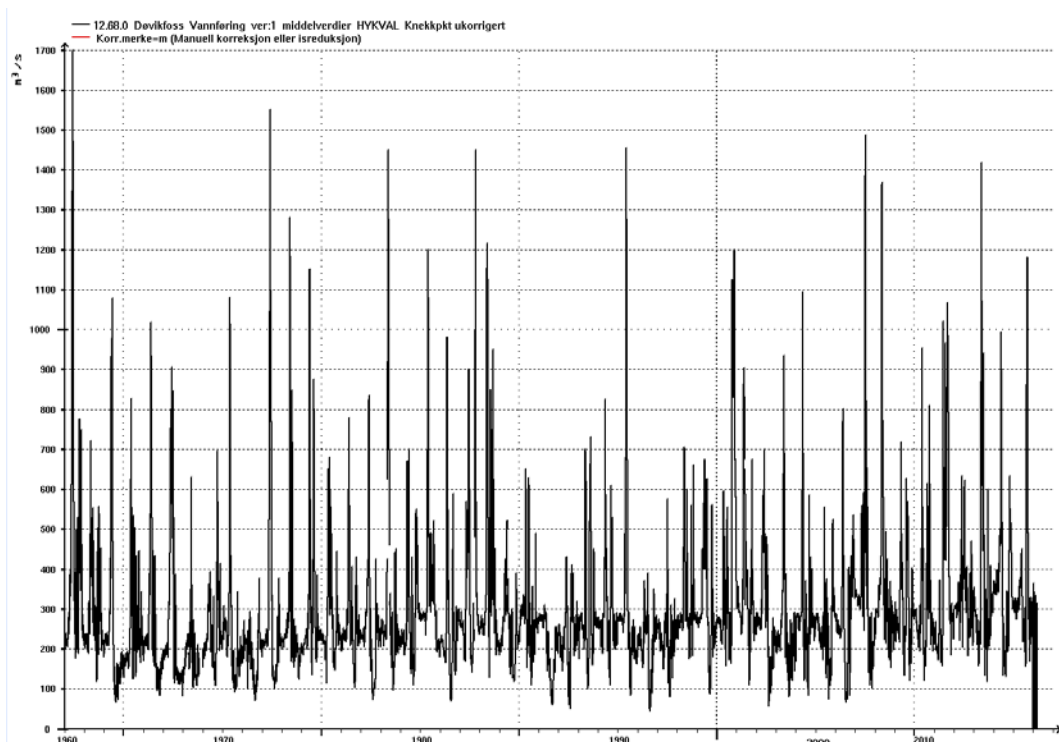
200-årsflommen i Drammenelva som ligger til grunne for flomsonekartet før denne påstanden kan dokumenteres bedre. Dette kan for eksempel gjøres ved å kjøre store flommer gjennom den hydrauliske modellen som foreligger for Drammenselva både ved å bruke naturkurver og reguleringskurver. Dette har det ikke vært ressurser til å utføre foreløpig.



Figur 12. Flomfrekvensanalyser for Drammenselva ved Døvikfoss for forskjellige perioder. Sort stiplet linje er den gjeldene for dagens flomsonekart.

Tabell 2. Viser resultater fra flomfrekvensanalyser for Drammenselva ved Døvikfoss ved bruk av forskjellige tidsperioder

	Fordeling	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200
Døvikfoss (1912-2015)	GEV (max lik)	1082	1401	1622	1820	2057	2220	2372
Døvikfoss (1969-2015)	GEV (max lik)	920	1179	1329	1449	1576	1654	1719
Døvikfoss (1977-2015)	GEV (max lik)	937	1206	1356	1474	1598	1672	1734
Døvikfoss (1977-1998)	LN3 - MLE	950	1270	1460	1620	1810	1940	2060
Døvikfoss gjeldende kurve		950	1270	1460	1620	1970	2310	2470



Figur 13. Viser vannføringen ved Døvikfoss fra 1967 - d.d.

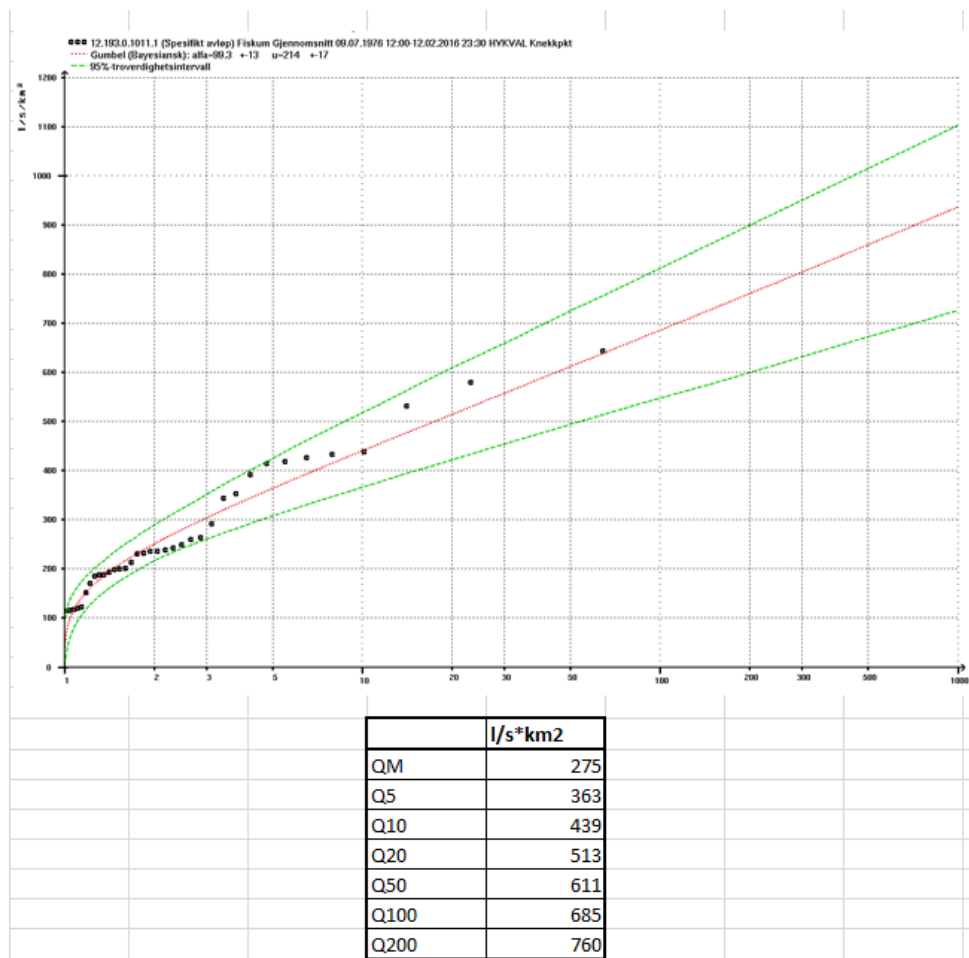
2.5 Samtidighet

Den største målte flommen i nedre deler av Drammenselva er vårflommen i 1927, men fra denne hendelsen foreligger det svært lite hydrologiske data utover observasjoner i hovedvassdraget. For å se nærmere på samtidighet av flommer i sidebekkene og hovedelva er det, i mangel av målinger i de aktuelle sidebekkene, sett på den nærliggende stasjonen 12.193 Fiskum. Kartoversikt over nedbørfeltet til Drammenselva og vannmerket Fiskum er gitt i Figur 14. Vannmerket 12.193 Fiskum ligger ca 13 km sørvest for Mjøndalen. Nedbørfeltet til vannmerket Fiskum er større og tregere enn Evja og Hagatjernbekken og er sånn sett ikke en optimal sammenligningsstasjon, men er det beste vannmerket å bruke i mangel av bedre data. Flomfrekvensanalyse for vannmerket 12.193 Fiskum er gitt i Figur 15. Det er sett på samtidig vannføring i Drammenselva og Fiskum for å forsøke å identifisere om det kan forventes flom i sidebekkene når Drammenselva er stor. Dersom en ser på de 10 største flommene som er målt ved Døvikfoss i periodene Drammenselva er over kote 2 (ca 980 m³/s ved Døvikfoss) finner en at det i juli 2007 ved Fiskum var flom med gjentaksintervall på rundt 20 år. I Oktober 1987 var det mellom 10-20 års flom ved Fiskum samtidig som Drammenselva var over kote 2. I mai 2013 var det også flom ved Fiskum samtidig som Drammenselva lå over kote 2. Under den episoden nådde Fiskum et gjentaksintervall på rundt 15 år. Av de 10 største flommene som er registrert ved Døvikfoss etter at det ble startet observasjoner med tidsoppløsning finere enn døgn for Fiskum (1980) er det registrert flom ved Fiskum samtidig som Døvikfoss ligger over 980 m³/s ved 4 av de 10 tilfellene (eksempel gitt i Figur 16). Størst av disse flommene var flommen i juli i 2007 og gjentaksintervallet for flommen var ca 10 år om en tar utgangspunkt i flomberegningen utarbeidet av Drageset i 2001. Rekonstruksjonen av 1927-flommen antyder at Drammenselva var svært stor allerede før det mest intense

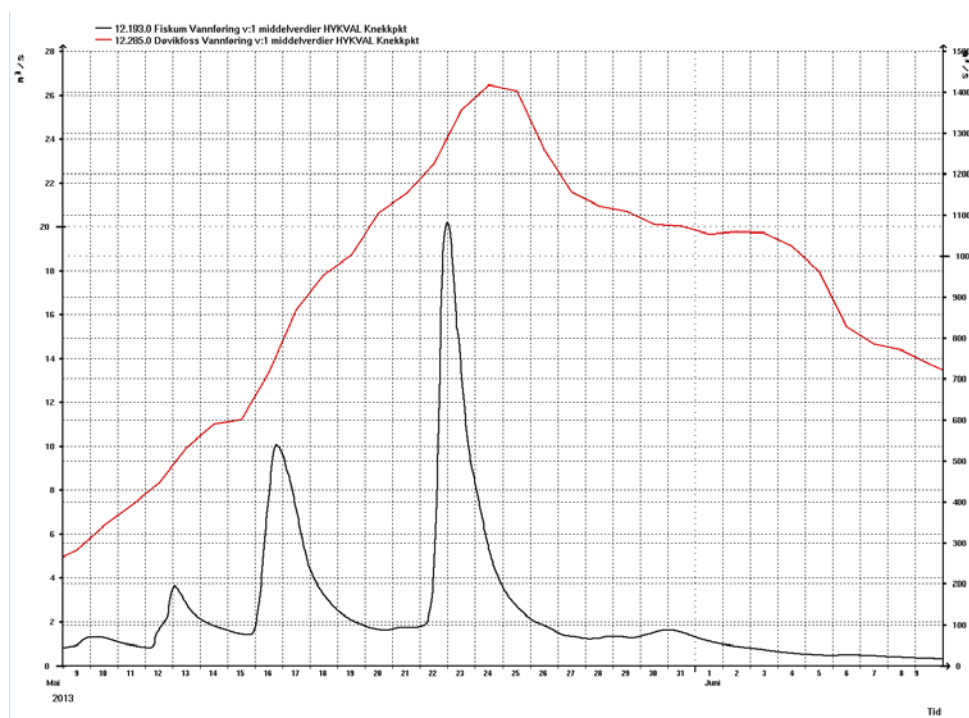
nedbørdøgnet 29 juni. Ved å kjøre nedbør-avløpsmodell for Evja og Hagatjern med observert nedbør 29 juni 1927 tyder simuleringen på at begge disse bekkene gikk flomstore dette døgnet (minst 10-årsflom).



Figur 14. Viser nedbørfeltet til Drammenselva (i rødt) og vannmerket Fiskum (grønn sirkel)



Figur 15. Flomfrekvensanalyse for vannmerket 12.193 Fiskum



Figur 16. Vannføring for Døvikfoss og Fiskum under flommen i mai 2013

2.6 Tidevannshensyn

For flomsonekartet (2017) i Mjøndalen er det lagt til grunn 10-års stormflo samtidig som 200-årsflommen. Vanligvis sees det på samtidighet med 1-års stormflo i NVEs flomsonekartleggingsarbeid, men en masterstudie (Indergård, 2005) fant en større grad av samtidighet for flom i Drammenselva og stormflo enn for andre vassdrag som løper ut i havet. Tidevannet spiller altså en rolle for forholdet mellom vannstanden og vannføringen i Drammenselva.

2.7 Oppsummering

Det er i dette kapittelet utført hydrologiske analyser og beregninger for Drammenselva og to bekker i Mjøndalen. Det er også gjort et forsøk på å identifisere i hvilken grad det kan forventes at sidebekkene i Mjøndalen går flomstore samtidig som vannstanden i Drammenselva er høy. Det er sett på de 10 største flommene i Drammenselva siden 1980 (året hvor vannmerket Fiskum begynte å registrere vannstand/vannføring med oppløsning finere enn døgn). Nedbørfeltet til vannmerket Fiskum er større og tregere enn Evja og Hagatjernbekken og er så sett ikke en optimal sammenligningsstasjon, men er det beste vannmerket å bruke i mangel av bedre data. I fire av de ti flomhendelsene var det flomvannføring ved vannmerket Fiskum samtidig som Drammenselva lå over kote 2 ved Mjøndalen. De to største flommen sidene begynnelsen av 1900-tallet i Drammenselva fant sted i 1926 og 1927. Ved å undersøke historiske hydrologiske og meteorologiske data er det gjort et forsøk på å vise at det under disse hendelsene er svært sannsynlig at det var stor flom i sidebekkene i Mjøndalen samtidig som Drammenselva lå over både kote 3 og 4 (NN2000). Resultatene fra analysen viser at selv om det finnes mange eksempler på tilfeller hvor det er flom i Drammenselva og ikke samtidig flom i sidebekkene (eksempelvis juni 95 og mai 1983), og tilsvarende tilfeller hvor det er flom i sidebekkene, men ikke flom i hovedvassdraget (eksempelvis august 2012), er det ikke rimelig å anta uavhengighet. Drammensvassdraget er mest utsatt for storflom i år hvor det er sen og gjerne kraftig snøsmelting, og hvor det kommer store nedbørmengder (enten vedvarende (juli 2007) eller intens (juni 1927) nedbør) når Drammenselva allerede har bygget seg opp gjennom smelteperioden. Om høsten er gjerne fyllingsgraden høyere i magasinene enn om våren følgelig er Drammensvassdraget mer sårbart for store nedbørmengder på denne tiden av året. De største høstflommene som er observert i Drammensvassdraget i senere tid er oktober 1987 og november 2000. Under begge disse hendelsene var det flom ved Fiskum samtidig som Drammenselva lå over kote 2.

Det ble utført en rekonstruksjon av 1927-flommen som kan tyde på at Drammenselva ved Mjøndalen lå på ca kote 3,2 moh (NN2000) allerede dagen før det kraftige nedbørdøgnet 29 juni og at kulminasjonsvannstanden (døgn) var i størrelsesorden 4,1-4,3 moh (NN2000). Ved å konstruere et nedbørforløp av døgnnedbøren den 29 juni 1927 er det kjørt nedbør-avløpsmodell for sidebekkene Evja og Hagatjernbekken for å undersøke om det er sannsynlig at det var flom i disse samtidig som Drammenselva var over kote 3. Nedbørforløpet ble bevisst konstruert for å gi den minste flommen i sidebekkene for å se om det gikk an å finne forløp som ikke ga flom. Resultatene fra nedbør-avløpsmodellen for de to sidebekkene var at begge to gikk flomstore selv med dette «gunstige» nedbørforløpet og den spesifikke vannføringen for de to feltene varierte mellom 800-970

$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$. Samtidighetsanalysene som her er utført beskriver en viss grad av samtidighet av flomvannføringer i Drammenselva og sidebekkene i Mjøndalen. Følgelig syntes det ikke urimelig å anta at sidebekkene vil nå flomvannføringer med gjentakintervall rundt 10 år under en hendelse hvor Drammenselva når 100-200 års-flommen. Dette vil si rundt 15 m^3/s for Evja og 9 m^3/s for Hagatjernbekken ved innløpet til Miletjern

Flomberegningen for Drammenselva er i denne rapporten utført på samme måte som beregningen som er grunnlaget for det gjeldene flomsonekartet for Mjøndalen. Det vil si at det er utført flomfrekvensanalyser i perioden etter 1977 som beskriver tilstanden etter siste store utbygging og som er gjeldene for gjentakintervaller opp til ca 50 år. For de høyeste gjentakintervallene er det antatt at vassdraget oppfører seg gradvis mer uregulert og den øvre delen av frekvenskurven er resultat fra flomfrekvensanalyser i hele observasjonsperiode (1912-2015). Resultatet gir et noe lavere estimat av 200-årsflommen enn det som ble beregnet av Drageset (2001) ved å inkludere de siste 15 årene med data. Dette kan tyde på at antagelsen om at vassdraget vil oppføre seg nærmest uregulert for de virkelig store flommene (eksempelvis 200-årsflommen) muligens ikke er helt realistisk. Det anbefales imidlertid ikke på det nåværende tidspunkt å endre verdien for 200-årsflommen i Drammenselva som ligger til grunn for flomsonekartet før denne påstanden kan dokumenteres bedre. Dette kan for eksempel gjøres ved å kjøre store flommer gjennom den hydrauliske modellen som foreligger for Drammenselva både ved å bruke naturkurver og reguleringskurver. Dette har det ikke vært ressurser til å utføre foreløpig.

Det syntes ut i fra analysene utført her tydelig at det ved gjentatte historiske flomepisoder har vært flom i sidebekkene i Mjøndalen samtidig som vannstanden i hovedvassdraget har vært høy. Dette har vært tilfellet både under høstflommer og vårflokker. For nedre deler av Drammensvassdraget har tidevann og stormflo en stor innvirkning på vannstanden ved Mjøndalen bru.

3 Følsomhetsanalyse for Evja

Gjennomgangen og sammenstillingen av de historiske dataene i forrige kapittel viser en viss samtidighet for flommer i sidebekkene og Drammenselva.

Hovedutfordringen når det gjelder vurdering av samtidighet mellom flom i Drammenselva og i sidebekkene er at vi har gode observasjonsserier for vannstanden i Drammenselva men vi har ikke tilsvarende data for sidevassdragene. For å få et mest mulig robust analysegrunnlag for samtidigheten av vannføringer er det naturlig å sammenligne resultater fra flere ulike metoder.

- I konseptplanen fra Blasy-Øverland datert 20.04.2015 er det kjørt analyser på nedbørsdata fra Marienlyst i Drammen mot vannstanden i Drammenselva i perioden 1956 – 1995.
- I forrige kapittel er det sett på historisk store flommer.
- I dette kapitlet ser vi nærmere på en følsomhetsanalyse for Evja.

Følsomhetsanalyse for Evja

Med utgangspunkt i den hydrauliske modellen for Evja som Dr. Blasy og Dr. Øverland har brukt som grunnlag for prosjekteringen av flomsikringstiltakene i «konseptplanen datert 20.04.2015» er det kjørt en følsomhetsanalyse på vannstanden i Drammenselva mot vannføringen i sidebekkene. Analysen er gjennomført ved å kjøre modellen med en rekke kombinasjoner av vannstand i Drammenselva og vannføring i sidebekkene. Som en funksjon av disse ulike kombinasjonene beregnes da vannstander på ulike steder i Evja. Som vedlegg til rapporten har vi lagt et større kart som viser følsomhetsanalysene for flere punkt langs Evja. I Figur 17 under er det vist et utsnitt av det vedlagte kartet.

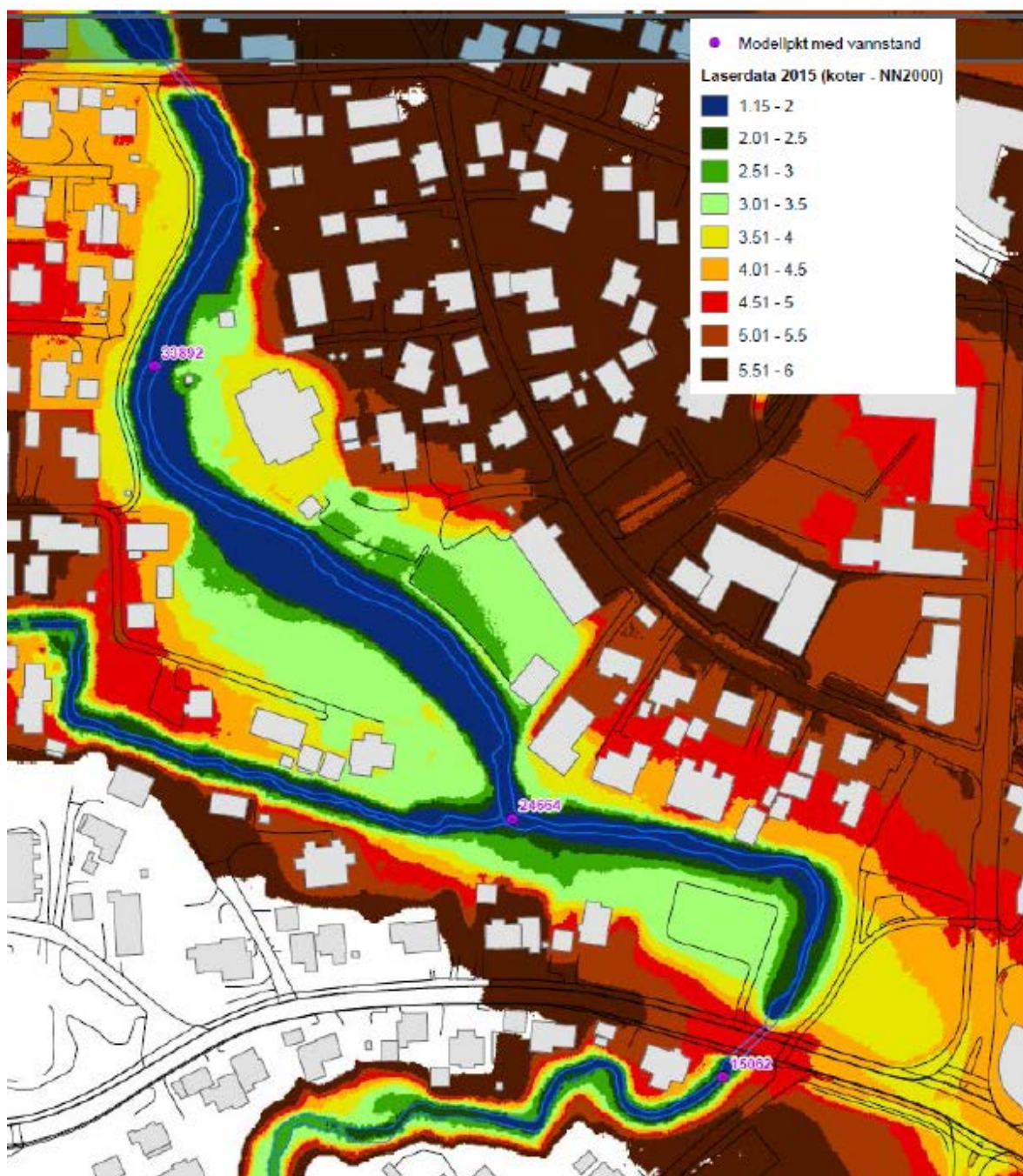
Kombinasjonene er vist i Tabell 3, der kolonnen lengst til venstre viser vannstandene i Drammenselva og den øverste raden viser vannføringene i Evja. De andre kolonnene viser de beregnede, resulterende vannstandene ved samløp Evja/Skalpebekk.

Tabell 3. Resultater fra følsomhetsanalysen mellom ulike vannstander i Drammenselva og vannføring i Evja. Samløp Skalpebekk/Evja.

Modellpkt nr 24664 - samløp Evja / Skalpebekken

Maks VS	2 m ³ /s	5 m ³ /s	10 m ³ /s	20 m ³ /s	30 m ³ /s	35 m ³ /s	40 m ³ /s
kt +2.0	2.13	2.21	2.42	2.87	3.28	3.47	3.63
kt +2.5	2.63	2.65	2.76	3.08	3.43	3.59	3.74
kt +3.0	3.12	3.13	3.12	3.41	3.68	3.82	3.97
kt +3.5	3.61	3.63	3.67	3.82	4.04	4.16	4.29
kt +4.0	4.11	4.12	4.15	4.27	4.44	4.54	4.64

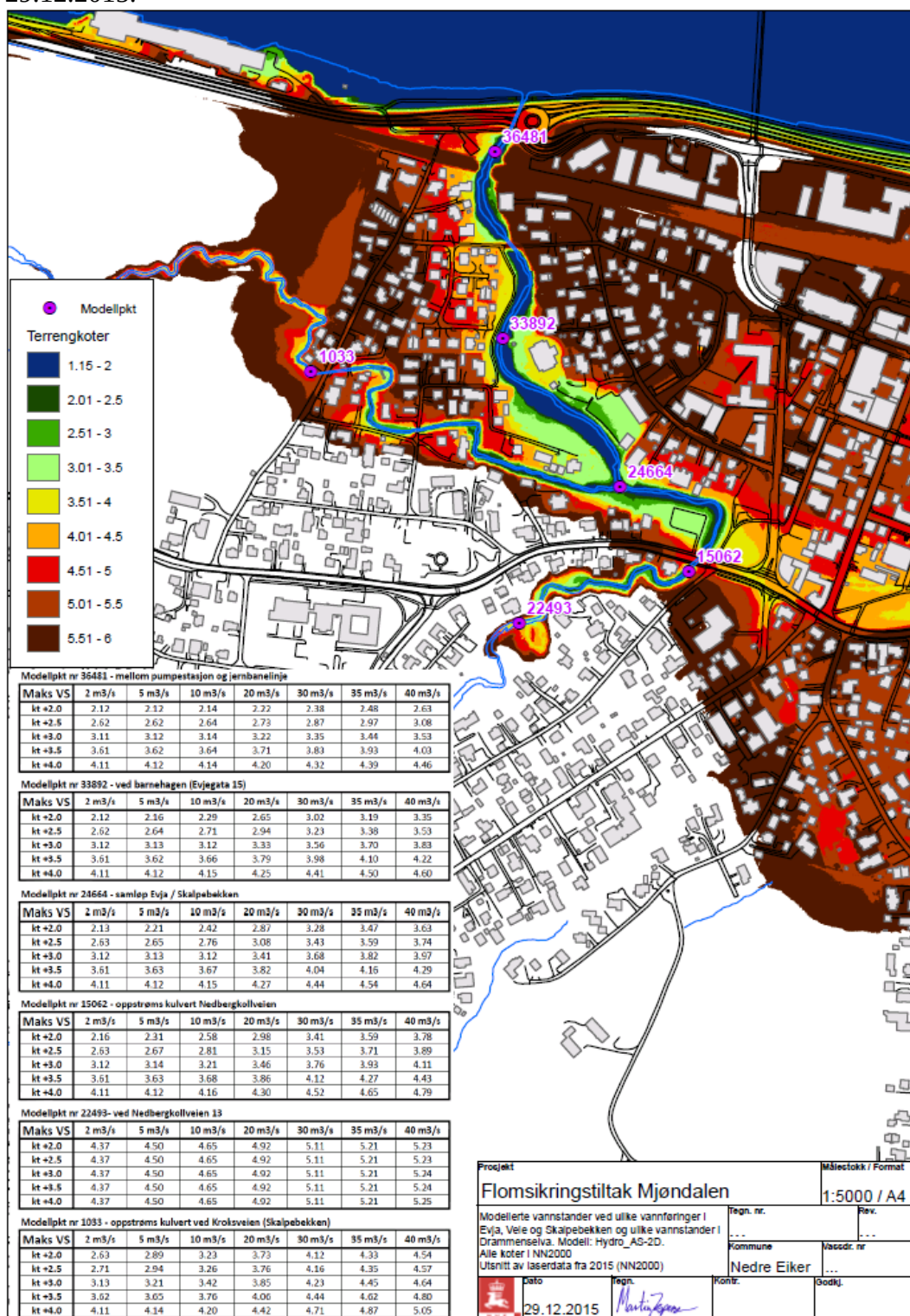
Med utgangspunkt i ovenstående tabell er det mulig å estimere hvor høyt vannstanden vil være i Evja ved ulike samtidigheter. Dersom vannstanden i Drammenselva eksempelvis er kt 3.5 og vannføringen 20 m³/s i Evja vil den resulterende vannstanden i Evja være kt 3.82.



Figur 17. Kart over nedre del av Evja. Terrengkoter fra laserdata, symbolisert med 0,5 m intervall.

4 Vedlegg

Kart som viser modellerte vannstander ved ulike vannføringer i Evja, Veia og Skalpebekk og ulike vannføringer i Drammenselva. Alle koter i NN2000. Datert 29.12.2015.



5 Referanser

- Barben, M., Hodel, H.-P., Kleeberg, H.-B., Spreafico, M., Weingartner, R. 2001: Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen. Erfahrungen aus den Rheinanliegerstaaten. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, Bericht Nr. I-19. 190 pp.
- Beldring, S., Eken, M., Sakshaug, H. 2012. Flom og stor vannføring forårsaket av ekstremværet Frida august 2012. NVE rapport 31/2012.
- Blasy & Øverland 2015: Nedre Eiker kommune, Flomsikring Mjøndalen (konsept) 30.04.2015. Oppdragsrapport til Nedre Eiker kommune. Dr. Blasy – Dr. Øverland. Beratende Ingenieure GmbH & CO. KG. 2015.
- Det Norske Meteorologiske Institutt. 1927. Nedbøriakttagelser i Norge. Årgang XXXIII.
- Drageset, T-A. 2001. Flomberegning for Drammenselva. NVE-rapport 8-2001.
- Førland, E. J. 1992: Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier, DNMI KLIMA Report 21/92.
- Glad, P.A., Reitan, T., Stenius, S. 2015. Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt. NVE rapport 8-2015.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015.
- <http://drammenhavn.no>
- Indergård, T. 2005. Virkninger av kombinerte effekter av stormflo og flom. Nummer D1-2005-08.
- Jespersen, M. 2016. Estimering av vannføring i Nedre Eiker under flommen 6.-7. august 2012 (Frida), Norges vassdrags-og energidirektorat, Teknisk notat 01-2012, 8 s, NVE sak 201205482-56).
- Kirpich, Z.P. 1940. Time of concentration of small watersheds. J. of Civil Engineering 10(6). ASCE. New York, NY.
- Ludwig, K. 1979: Das Programmsystem FGMOD zur Berechnung von HochwasserAbflussvorgängen in Flussgebieten. I: Wasserwirtschaft 69, Heft 7+8:226-228.
- Lundquist, D. 2012. Krokstadelva og Mjøndalen - Flommen 6.-7. august 2012. Norconsult notat nr. hy01, 16 s.
- met.no info nr. 7, 2012. Været i Norge. Klimatologisk månedsoversikt juli 2012. Meteorologisk institutt, KLIMA, 25 s.
- met.no info nr. 15, 2012. Ekstremværrapport. Hendelse: Frida 06.08.2012. Meteorologisk institutt, ISSN 1503-8017, MetKlim/VA, 14 s.

USDA 2010. National Engineering Handbook. Part 630 Hydrology. Chapter 15, Time of Concentration. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (tidligere Soil Conservation Service).



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no