



Flomsonekartprosjektet
**Flomberegning
for Drammenselva**

Turid-Anne Drageset

8
2001



D
O
K
U
M
E
N
T

Flomberegning for Drammenselva (012.Z)

Norges vassdrags- og energidirektorat

2001

Dokument nr. 8 - 2001

Flomberegning for Drammenselva (012.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Turid-Anne Drageset

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 25

Forsidefoto: Flom i Drammenselva i oktober 1997 ved en campingplass ca. 2 km nedstrøms Hellefossen. Vannstanden er ca. 3,5m over normalvannstanden. Karene i båten har nettopp fortøyd den ene hytta i et tre. Legg merke til skiltet! Foto: Gustav Braathen

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: I forbindelse med Flomsonekartprosjektet i NVE er det som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging utført flomberegning for nedre deler av Drammenselva fra Hellefossen til utløpet i Drammensfjorden. Kulminasjonsvannføringer for flommer med forskjellige gjentaksintervall er beregnet for tre punkter på denne strekningen og ved Døvikfoss.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Drammenselva

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

April 2001

Innhold

Tabeller og figurer	4
Forord	5
Sammendrag	6
1. Beskrivelse av oppgaven	7
2. Beskrivelse av vassdraget	7
3. Hydrometriske stasjoner	11
3.1 Hydrometriske stasjoner i Drammensvassdraget	11
3.2 Karakteristiske vannføringsverdier.....	12
4. Beregning av flomverdier	14
4.1 Frekvensanalyse på observerte og konstruerte data ved Døvikfoss.....	14
4.2 Frekvensanalyse på konstruerte data på strekningen fra Hellefossen til utløpet i fjorden.....	21
4.3 Kulminasjonsvannføring.....	23
4.4 Ekstremvannsanalyse ved Drammen havn.....	25
5. Observerte flommer	27
6. Usikkerhet	27
Referanser	29

Tabeller

Tabell 1	Feltarealer til delvassdrag i Drammensvassdraget	s. 9
Tabell 2	Reguleringsmagasiner i Drammensvassdraget	s.10
Tabell 3	Stasjonsopplysninger for målestasjoner i nedre deler av Drammensvassdraget	s.12
Tabell 4	Registrerte vannføringsdata i kraftverk sammenlignet med direkte vannføringsmålinger med ADCP	s.12
Tabell 5	De seks største flommene i løpet av observasjonsperioden ved kraftverket Døvikfoss	s.14
Tabell 6	Flomfrekvensanalyse på årsflommer for målestasjoner i nedre deler av Drammensvassdraget, Q_T/Q_M	s.17
Tabell 7	Flomfrekvensanalyse for vår- og høstsesong ved Døvikfoss, Q_T/Q_M	s.17
Tabell 8	Resultat av flomfrekvensanalyse ved Døvikfoss, døgnmiddelverdier (m^3/s) for årsflommer	s.20
Tabell 9	Resultat av flomfrekvensanalyse ved Døvikfoss, døgnmiddelverdier (m^3/s) for vår- og høstflom	s.21
Tabell 10	Flomfrekvensanalyse på årsflommer for konstruerte dataserier i de aktuelle punktene i Drammenselva, Q_T/Q_M	s.22
Tabell 11	Benyttede middelflomverdier (Q_M) og frekvensfaktorer (Q_T/Q_M) i de aktuelle punktene, årsflommer	s.23
Tabell 12	Flomvannføring ved tre ulike punkter i nedre deler av Drammenselva, døgnmiddelvannføring i m^3/s for årsflommer, vår- og høstflommer	s.23
Tabell 13	Flomvannføring ved tre ulike punkter i nedre deler av Drammenselva, kulminasjonsvannføring i m^3/s for årsflommer, vår- og høstflommer	s.24
Tabell 14	Vannstander ved Drammen havn og Oslo ved ulike gjentaksintervall beregnet ved fordelingsfunksjonen General Extreme Value (GEV-pwm).	s.26

Figurer

Figur 1	Oversiktskart over Drammensvassdraget med inntegnede strekninger som skal flomsonekartlegges	s.8
Figur 2	Hypsografisk kurve for Drammensvassdraget	s.9
Figur 3	Karakteristiske hydrologiske data ved Døvikfoss.	s.13
Figur 4	Flomvannføring ved Døvikfoss. Største årlige flomvannføring plottet sammen med løpende 10-års middel	s.15
Figur 5	Frekvensanalyser for vår- og høstsesong sammenlignet med årsflom ved Døvikfoss for perioden 1912-1999 og 1977-1998	s.18
Figur 6	Flomfrekvenskurve for Døvikfoss (årsflommer) for perioden 1912-1999 og 1977-1998	s.19
Figur 7	Flomverdier for Døvikfoss (årsflommer).	s.20
Figur 8	Frekvenstilpasningen til observerte data ved Drammens havn med fordelingsfunksjonen General Extreme value (GEV-pwm)	s.26

Forord

Flomsonekartlegging er et viktig hjelpemiddel i arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Som et ledd i utarbeidelse av slike kart må flomvannføringer beregnes. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer, for eksempel programmet "Ekstrem" som benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med flomsonekartlegging av flomutsatt elvestrekning langs nedre deler av Drammenselva i Buskerud, fra Hellefossen til utløpet i Drammensfjorden. Rapporten er utarbeidet av Turid-Anne Drageset og kvalitetskontrollert av Lars Evan Pettersson.

Oslo, april 2001



Kjell Repp
avdelingsdirektør



Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Flomberegningen for nedre deler av Drammenselva omfatter ett delprosjekt (fs 012_1) i Flomsonekartprosjektet i NVE. Drammensvassdraget er et stort østlandsvassdrag med hoveddelen av nedbørfeltet i Buskerud og Oppland fylke. Vassdraget strekker seg fra høyfjellsområder i Langfjella ned til kysten i øst med utløp i Drammensfjorden. Prosjektet omfatter elvestrekningen fra Hellefossen ned til utløpet i fjorden ved Drammen.

Flomberegningene er basert på analyser av kraftverksdata fra 12.68 Døvikfoss og 12.284 Geithus, som har vist seg å ha noe usikker datakvalitet. Av den grunn er det i tillegg benyttet flomdata fra hydrometriske stasjoner i vassdraget for sammenligning og komplettering av kraftverksdataene.

Vassdraget er sterkt regulert til kraftproduksjon, noe som gjør det komplisert å beregne flomverdier som skal representere flomforholdene i framtida. Flomforholdene slik de er i dag, etter at tilveksten av reguleringsmagasiner sterkt avtok på 1970-tallet, kan ventes å være representative for flomforholdene ved mindre flommer. Ved større og mer sjeldne flomhendelser vil reguleringens flomdempende effekt avta med økende gjentaksintervall, slik at flomforholdene sannsynligvis blir mer lik uregulerte forhold.

På bakgrunn av dette er det beregnet kulminasjonsvannføringer ved forskjellige gjentaksintervall på flommer ved til sammen fire punkter langs nedre deler av Drammenselva. Resultatet av beregningene ble:

	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
Årsflommer og vårflokker:								
Døvikfoss	980	1310	1510	1670	2030	2380	2550	2750
Hellefoss	1020	1360	1560	1740	2110	2470	2650	2860
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	1070	1430	1640	1820	2220	2590	2780	3000
Drammenselva ved utløpet i fjorden	1070	1430	1640	1820	2220	2590	2780	3000
Høst (01.08.-31.12.)								
Døvikfoss	600	810	980	1140	1470	1770	1930	2140
Hellefoss	630	850	1030	1200	1550	1860	2030	2250
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	680	910	1100	1280	1650	1980	2160	2400
Drammenselva ved utløpet i fjorden	680	910	1100	1280	1650	1980	2160	2400

Tross stor usikkerhet i beregningene, spesielt på høye gjentaksintervall, er flomverdiene presentert med en nøyaktighet på $10 m^3/s$. Dette er gjort av praktiske årsaker.

Ekstremvannstander i sjøen er nødvendig for konstruksjon av flomsonekart i kystområder. Ekstremvannstander er beregnet ved Drammen havn.

1. Beskrivelse av oppgaven

Flomsonekart skal konstrueres for flomutsatt elvestrekning langs nedre deler av Drammenselva i Buskerud fra Hellefossen til utløpet i fjorden, en strekning på ca. 20 km gjennom de tre kommunene Øvre Eiker, Nedre Eiker og Drammen. Strekningen omfatter ett delprosjekt i Flomsonekartprosjektet, med delprosjektnummer fs 012_1. Strekningen er tegnet inn på figur 1. Flomutsatt på strekningen er bl.a. tettbebyggelse, industriområder, Europaveg 11, jernbanelinje og campingplass. Dette er én av i alt fem delstrekninger i Drammensvassdraget som det skal konstrueres flomsonekart for. De fire andre flomutsatte strekningene er ved Hønefoss, Nesbyen, Gol og Hemsedal.

Som grunnlag for konstruksjon av flomsonekart for nedre del av Drammenselva skal midlere flom og flommer med gjentaksintervall 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes. Det skal også gjøres en ekstremvannstandssanalyse for Drammensfjorden.

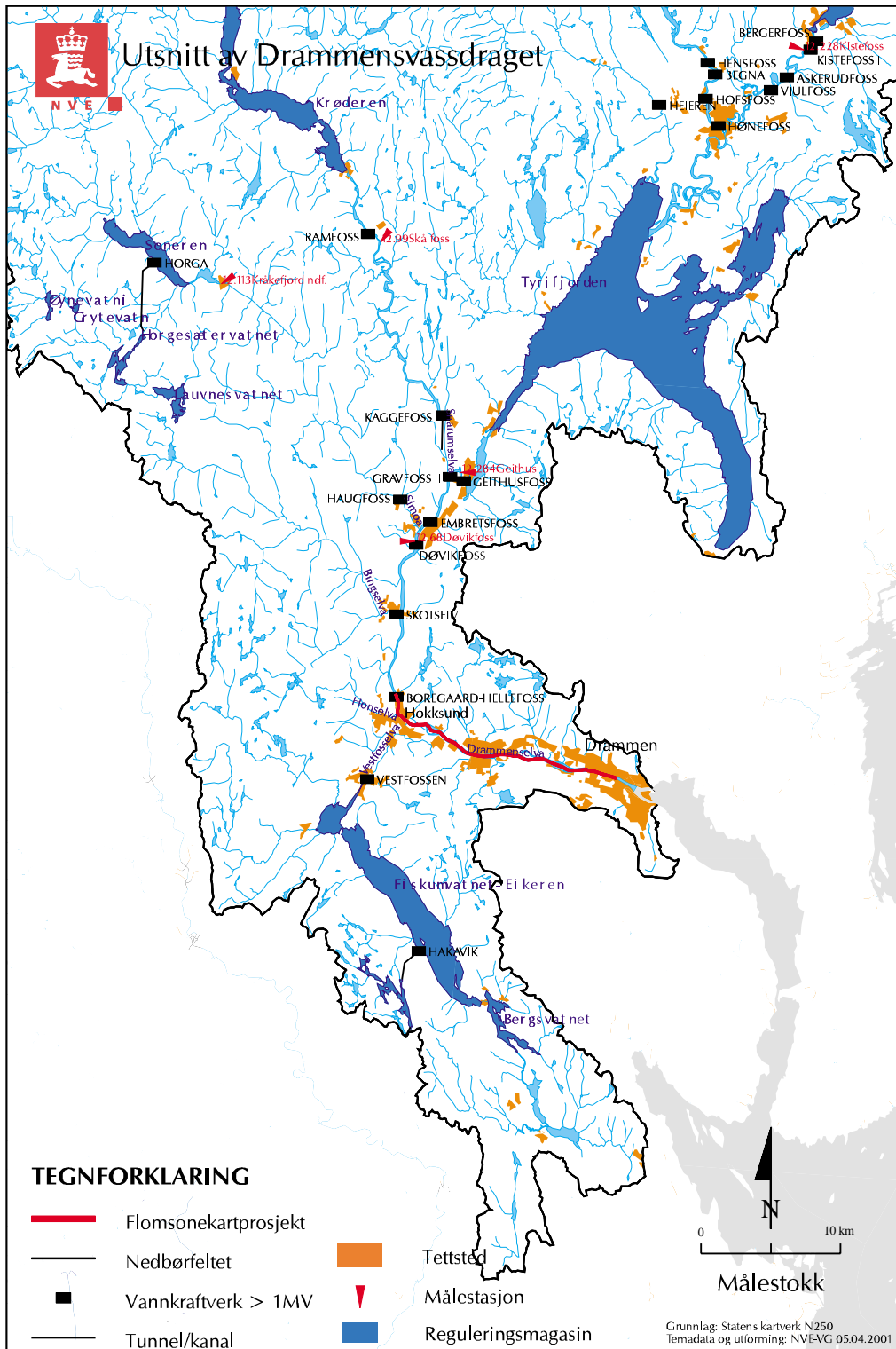
2. Beskrivelse av vassdraget

Nedbørfelt

Med et nedbørfelt på 17114 km² er Drammensvassdraget Norges nest største vassdrag. Vassdraget har sentral beliggenhet på Østlandet, og omfatter en vesentlig del av Buskerud og Oppland fylke og litt av Vestfold fylke. Nedbørfeltet avgrenses i nord mot Valdresfylla og Jotunheimen, i nordvest av Filefjell og Tyin, i vest mot Hardangervidda/Hardangerjøkulen og Numedalslågens nedbørfelt, i øst mot Gausdal, Nordmarka, Bærumsmarka og Mjøsas nedbørfelt.

Drammensvassdraget deler seg naturlig i flere delvassdrag. Den sentrale elv i vassdraget er Drammenselva som strekker seg fra Tyrifjorden ned til utløpet i Drammensfjorden. På denne strekningen tilløper tre større elver: Vestfosselva fra Eikeren med nedbørfelt på 533 km², Simoa fra Eggedal og Sigdal med 887 km², og Snarumselva (Hallingdalselva) med nedbørfelt på 5252 km². Hovedvassdraget nordfra samles i Storelva som drenerer inn i Tyrifjorden. Storelva dannes ved samløpet mellom Randselva fra Randsfjordvassdraget (3765 km²) og Ådalselva fra det ovenforliggende Begnavassdraget (4851 km²). Flere mindre vassdrag har også tilsig til Tyrifjorden. Av disse er Songa med 624 km² det største. Øvrige arealer for delfelt i Drammensvassdraget er vist i tabell 1.

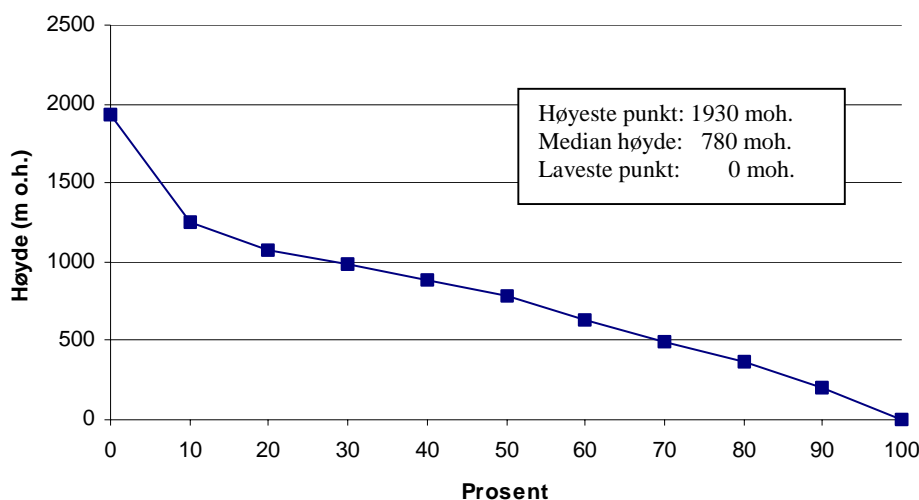
Drammensvassdragets nedbørfelt omfatter alle typer østlandslandskap fra lavland til høyfjell. Hypsografisk kurve for Drammensvassdraget (figur 2) illustrerer de store høydeforskjellene i det vidstrakte vassdraget som når opp i mot 2000 meters høyde. Nedbørnormaler for meteorologiske målestasjoner i feltet er 520 mm ved 2342 Fagernes langs Begna langt



Figur 1. Oversiktskart over Drammensvassdraget. Strekingen som skal flomsonkartlegges, og som det er gjort flomberegning for, er inntegnet.

Tabell 1. Benyttede feltarealer til delvassdrag i Drammensvassdraget i henhold til data fra NVE-VG feb. 2001, Hydra2-databasen og Vassdragsregisteret

Felt	Areal (km ²)	Kommentar
Begnavassdraget og Randsfjordvassdraget: Målestasjon 12.284 Geithus (nedstrøms Tyrifjorden)	9860	Areal hentet fra Hydra2-databasen
Hallingdalsvassdraget: Målestasjon 12.99 Skålfoss i Snarumselv Skålfoss – samløp Drammenselva Sum	5121 (5110) 131 (127) 5252	NVE-VG feb. 2001 (Hydra2) NVE-VG feb. 2001 (Vassdragsregisteret) NVE-VG feb. 2001
Simoa: Målestasjon 12.113 Kråkefjord ndf. Kråkefjord – samløp Drammenselva Sum	702 185 (183) 887	NVE-VG feb. 2001 NVE-VG feb. 2001 (Vassdragsregisteret) NVE-VG feb. 2001
Døvikfoss	16020	Areal hentet fra Hydra2-databasen
Borregaard-Hellefossen	16372	NVE-VG feb. 2001
Honselva	45	NVE-VG feb. 2001
Vestfosselva	533	NVE-VG feb. 2001
restfelt	4,3	NVE-VG feb. 2001
Drammenselva nedstrøms Vestfosselva	16954	NVE-VG feb. 2001
Drammenselva ved utløpet i fjorden	17114	NVE-VG feb. 2001



Figur 2. Hypsografisk kurve for Drammensvassdraget. Areal 17114 km².

nord i Drammensvassdraget, 780 mm ved 2168 Vest-Torpa II langs Dokka, 520 mm ved 2488 Nesbyen i Hallingdal, 840 mm ved 2638 Eggedal i Simoa og 830 mm ved 2689 Drammen (Førland 1993). NVEs isohydatkart gir en naturlig spesifikk årlig avrenning for perioden 1930-1960 på ca. 20 l/skm², men varierer innenfor vassdraget fra omkring 10 til omkring 40 l/skm². Avrenningen er minst i områder omkring Tyrifjorden, Randsfjorden, i Hallingdal i et område omkring Nesbyen og Gol og i mindre områder omkring Tunhovdfjorden og Pålbufjorden. Størst avrenning er det øverst i nedbørfeltet til Hallingdalselva omkring Ustevatn og Strandafjorden.

De største flommene i nedre deler av Drammensvassdraget oppstår vanligvis i månedene mai og juni i forbindelse med snøsmelting. Det forekommer også at kraftig

regnvær om høsten fører til flomepisoder. Vinterstid er den naturlige avrenningen liten.

Reguleringer

Utnyttelse av vassdragets magasiner til kraftproduksjon har skjedd gradvis siden begynnelsen av 1900-tallet. Det startet med reguleringen av Sperillen i 1906 (ombygget i 1963). Deretter fulgte reguleringene av de større innsjøene Tyrifjorden i 1912 (ombygget i 1990) og Randsfjorden samme år (ombygget i 1955). Dammen ved Krøderen ble bygget i 1960. Mange av de mindre sjøene i de høyereliggende områdene av vassdraget er også regulert. Valdresreguleringen kom til i 1916 (Strandefjorden, Volbufjorden og Øyangen), Holsreguleringen i 1945 til 1955, Ustevatn/Rødungen i 1966-68, for å nevne noen. Tabell 2 gir en oversikt over de fleste magasinene i vassdraget, enkelte mindre magasiner er utelatt. Siden begynnelsen av 1970 har det kun vært mindre utbygginger i vassdraget, med unntak av Finsevatn på slutten av 1970-tallet og Dokkautbyggingen (Dokkfløyvatn) på slutten av 1980-tallet.

Tabell 2. Reguleringsmagasiner i Drammensvassdraget og årstall for driftstart.

Målestasjon/Reguleringsmagasin	Årstall	Lokalt vassdrag
12 5 Killingstryken/Sperillen	1906	Begnavassdr.
12 65 Skjerdal/Tyrifjorden	1912	Tyrifjorden
12 69 Randsfjord	1912	Randsfjorden
12 87 Øyangen	1918	Randsfjordvassdr.
12 89 Volbufjord	1918	Randsfjordvassdr.
12 81 Strandefjord	1921	Randsfjordvassdr.
12 112 Kråkefjord ovf.	1931	Simoa
12 123 Øyangen-Steinbusjøen	1946	Begnavassdr.
12 125 Varaldsetvatn	1947	Hallingdalsvassdr.
12 126 Rødungen	1947	Hallingdalsvassdr.
12 127 Bergsjø	1947	Hallingdalsvassdr.
12 128 Djupvatn-Stolsvatn	1947	Hallingdalsvassdr.
12 116 Helin	1948	Begnavassdr.
12 129 Mjåvatn	1949	Hallingdalsvassdr.
12 135 Tisleifjord	1950	Begnavassdr.
12 138 Storevatn	1951	Begnavassdr.
12 140 Olevatn	1952	Begnavassdr.
12 139 Fleinsendin	1952	Begnavassdr.
12 6 Strandevatn	1955	Hallingdalsvassdr.
12 145 Flyvatn	1955	Begnavassdr.
12 117 Vavatn	1959	Hallingdalsvassdr.
12 130 Flævatn	1960	Hallingdalsvassdr.
12 148 Otrøvatn	1960	Begnavassdr.
12 157 Aurdalsfjord	1960	Begnavassdr.
12 170 Krødern	1960	Hallingdalsvassdr.
12 151 Vestre Bjonevatn	1962	Begnavassdr.
12 75 Vangsmjøsa	1963	Randsfjordvassdr.
12 152 Samsjøen	1963	Begnavassdr.
12 156 Rysntjern	1966	Begnavassdr.
12 159 Nygårdsvatn	1966	Hallingdalsvassdr.
12 160 Ustevatn	1966	Hallingdalsvassdr.
12 161 Ørteren	1966	Hallingdalsvassdr.
12 29 Rødungen	1968	Hallingdalsvassdr.
12 168 Sendebottentjern	1968	Begnavassdr.
12 162 Finsevatn	1977	Hallingdalsvassdr.

Reguleringene i de ulike delvassdragene skjøttes av fire større og en rekke mindre institusjoner. Regulant i Randsfjordvassdraget ned til Hønefoss er Ringerike Kraft (Oppland Kraft ned til Kolbjørnshus), i Begnavassdraget Foreningen til

Begnavassdragets regulering, Tyrifjorden reguleres av Buskerud Kraft og Hallingdalsvassdraget reguleres av Oslo Energi.

Reguleringsmagasinene i Drammensvassdraget har en total lagringskapasitet på noe over 3500 mill m³. Dette tilsvarer ca. 35 % av midlere årlig tilsig. Reguleringer har vanligvis flomdempende effekt. Flommer som kommer om høsten er som regel de mest kritiske pga. fulle magasiner og en vannstand (HRV) i sjøene som da gjerne ligger over den tidligere naturlige vannstanden.

3. Hydrometriske stasjoner

3.1 Hydrometriske stasjoner i Drammensvassdraget

Det finnes en rekke målestasjoner for vannstand/vannføring i Drammensvassdraget. De viktigste i tilknytning til strekningen i nedre deler av Drammenselva, som i denne omgang skal flomberegnes, er 12.68 Døvikfoss, 12.284 Geithus, begge i Drammenselva, 12.99 Skålfoss i Snarumselva og 12.113 Kråkefjord i Simoa. Stasjonsopplysninger for disse målestasjonene er gitt i tabell 3.

Dataserien ved Døvikfoss i Drammenselva er viktig i denne sammenheng da den over en lang periode gir total avrenning fra 94 % av hele Drammensvassdragets nedbørfelt på 17114 km². Døvikfoss ligger nedstrøms de fleste dammer og kraftverk i vassdraget, med unntak av kraftverket Borregaard/Hellefossen i Drammenselva nord for Hokksund og kraftverket Vestfossen i Vestfosselva fra Eikeren. Dataseriene 12.68 Døvikfoss og 12.284 Geithus er sammensatte dataserier av driftsvannføring i kraftverkene og overløp ved dam/luker. Vannføringsmålinger ved Døvikfoss og Geithus med ADCP foretatt av NVE under høstflommen 2000 gir en indikasjon på usikkerheten i dataene (tabell 4). Tabellen viser at kraftverksdataene både ved Geithus og Døvikfoss er usikre, med et avvik i forhold til direkte målinger på omkring 100 m³/s. Driftsvannføringen er fremkommet ved en omregning på bakgrunn av energiproduksjon og virkningsgraden i turbinene. Omregningen til vannføring gjøres via virkningsgradskurven for kraftverket, som normalt kun er etablert én gang, da kraftverket ble satt i drift. Virkningsgraden i kraftverket kan endres over tid ved slitasje på turbinene, slik at det da er trend i dataene. Avviket kan også skyldes en systematisk feil ved omregning til vannføring helt siden driftsstart. Kvaliteten på de omregnede verdiene kan av denne grunn være usikre. Men ved store flommer utgjør normalt driftsvannføringen kun en liten andel av den totale vannføringen i forhold til overløpet. Sannsynligheten er derfor større for at avviket skyldes unøyaktigheter i lukesystemet slik at overløpet feilestimeres. Avviket vil da antagelig øke med økende vannføring. Homogenitetstesting av driftsvannføringsdataene ved Døvikfoss (hele perioden) og Geithus (fra 1967) viser at det sannsynligvis ikke er brudd i dataene (Astrup 2000).

Målestasjonene 12.99 Skålfoss og 12.113 Kråkefjord er plassert i fjellprofil og vannføringskurvene regnes for å være av god kvalitet. Begge stasjonene har lange dataserier. Homogenitetstesting viser at Skålfoss er uten brudd etter 1925, mens

Kråkefjord har brudd i 1970.

Tabell 3. Stasjonsopplysninger for målestasjoner i nedre deler av Drammensvassdraget.

Stasjon	Felt-areal (km ²)	Observ.-periode	QM (m ³ /s)	QM (l/skm ²)	Qmax målt (m ³ /s)	Qmax i % av QM	Stasjonskommentarer:
12.68 Døvikfoss	16020	1912- dags dato	1103	68,9	1540	140	Kraftverksdata etter 1973.
12.284 Geithus	9860	1887- dags dato	579	58,7			Ikke data 1948-1966.
12.99 Skålfoss	5110	1889- dags dato	541	106	747	138	Kraftverksdata etter 1967.
12.113 Kråkefjord ndf.	702	1930- dags dato	116	165	151	130	

QM: Spesifikk middelflom for hele observasjonsperioden. **Qmax målt:** Største målte vannføringsmåling som inngår i vannføringskurven. **Qmax i % av QM:** Største vannføringsmåling som inngår i vannføringskurven i % av middelflom.

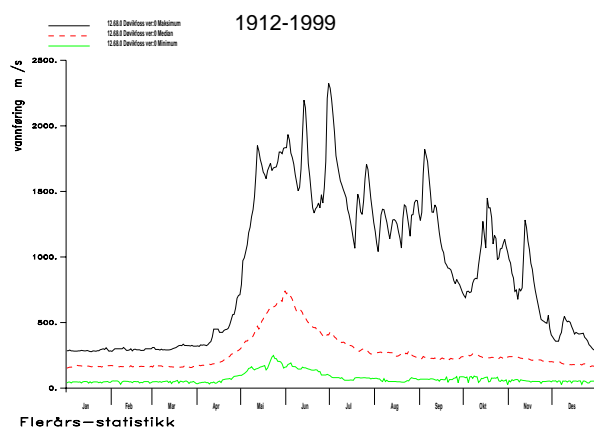
Tabell 4. Registrerte vannføringsdata i kraftverk (summen av driftsvannføring og overløp) sammenlignet med direkte vannføringsmålinger med ADCP.

Målestasjon	Dato og klokkeslett	Vannføring målt med ADCP (m ³ /s)	Vannføring registrert i kraftverket (m ³ /s)	Differanse (m ³ /s)	Differanse i prosent
12.68 Døvikfoss	23.11.2000 kl 1000	1167	1075	92	8,6
12.68 Døvikfoss	06.12.2000 kl 0900	754	675	79	11,7
12.284 Geithus	23.11.2000 kl 1300	730	600	130	21,7
12.284 Geithus	06.12.2000 kl 1500	510	500	10	2,0

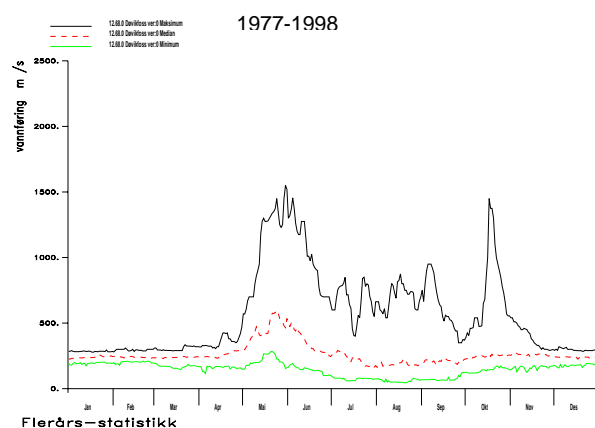
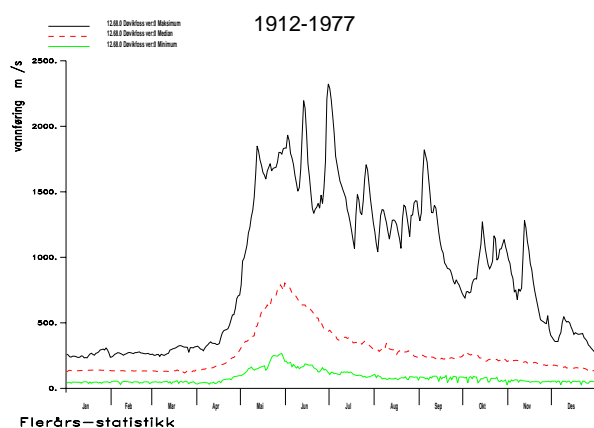
Benyttede feltareal er fastlagt ved nye beregninger av Seksjon for geoinformasjon (VG), og kan avvike noe fra de arealer som er oppgitt i Hydrologisk avdelings database, Hydra2. I de videre beregningene har det i noen tilfeller forekommet at feltarealer på Hydra2-databasen eller fra Vassdragsregisteret er benyttet til tross for at nye feltarealer er beregnet av VG pr. februar 2001. Dette fremgår av tabell 1. Selv om arealene avviker noe har dette liten betydning for de beregnede flomverdiene.

3.2. Karakteristiske vannføringsverdier

Vannføringsforholdene i Drammenselva er stadig endret opp gjennom årene på grunn av en kontinuerlig tilvekst av nye reguleringsmagasiner. Størst innvirkning på vannføringsforholdene i Drammenselva har antagelig reguleringene av de større innsjøene i de nedre deler av vassdraget Randsfjorden, Tyrifjorden, Sperillen, Krøderen og Soneren. De øvre deler av vassdraget er også så gjennomregulert at disse også påvirker de nedre deler av vassdraget.



Figur 3. Karakteristiske hydrologiske data ved Døvikfoss for ulike perioder. Diagrammene viser største, median og minste vannføring i angitt periode.



Figur 3 viser karakteristiske vannføringsverdier for hver dag i løpet av året for målestasjonen 12.68 Døvikfoss i Drammenselva i ulike perioder. Det første diagrammet viser hele observasjonsperioden ved Døvikfoss (1912-1999). Frem til slutten av 1970-tallet var det jevn tilvekst av reguleringsmagasiner. Fra slutten av 1970-tallet har tilveksten vært liten. Observasjonsserien er derfor delt opp i to perioder, før og etter 1977, i de to andre diagrammene i figur 3. 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.

I tabell 5 er de største flommene ved Døvikfoss i løpet av observasjonsperioden 1912-1999 presentert.

Tabell 5. De seks største flommene i løpet av observasjonsperioden ved kraftverket Døvikfoss.

Hentet fra NVEs dataarkiv Hydra2.

Stasjon	Observasjons- periode	År	Dato	Døgnmiddel- vannføring, m ³ /s
12.68 Døvikfoss	1912-1999	1927	30/6	2324
		1926	13/6	2197
		1916	12/5	1850
		1931	31/5	1834
		1934	4/9	1821
		1967	3/6	1786

4. Beregning av flomverdier

Flomforholdene i Drammensvassdraget er forandret opp gjennom årene på grunn av økende reguleringsgrad. Flomstørrelsene er bestemt av en kombinasjon av de naturlige flomvannføringene og reguleringenens innvirkning på flomforholdene. Tilveksten av reguleringsmagasiner i vassdraget har vært jevn helt fra begynnelsen av observasjonsperioden (1912) fram til slutten av 1970-tallet. Det er åpenbart at de større magasinene i nedre deler av vassdraget har betydning for flomforholdene i Drammenselva. De mindre magasinene i øvre deler av vassdraget er så mange at disse også har betydning i nedre deler av vassdraget, men i hvilken grad er usikkert. Opplysninger om driftstart for de ulike magasinene er gitt i tabell 2.

I et slikt gjennomregulert vassdrag er det vanskelig å utføre flomfrekvensanalyser slik at flomstørrelsene blir representative for dagens forhold. Med økende flomstørrelse vil sannsynligvis reguleringenens flomdempende effekt avta, slik at flomstørrelsene ved store gjentakintervall nærmer seg naturlige (uregulerte) forhold.

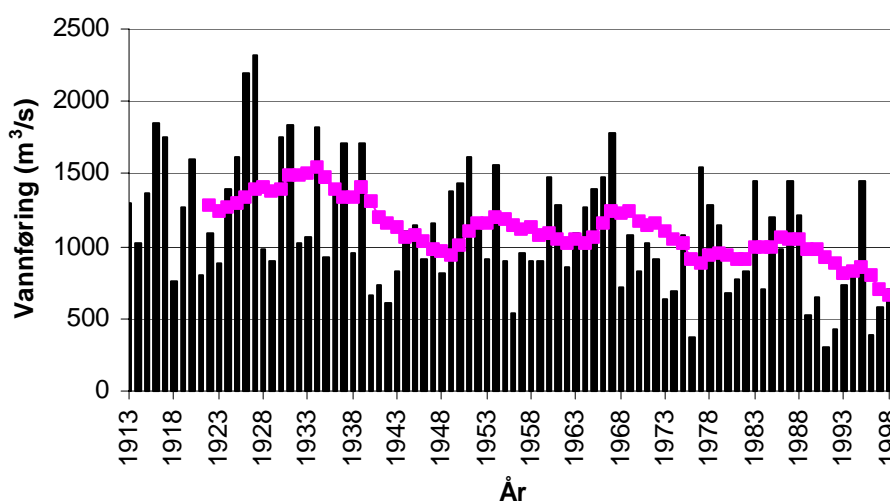
På strekningen nederst i Drammenselva, som det her skal gjøres flomberegning for, fra Hellefoss til utløpet i fjorden, finnes ingen lengre observerte dataserier for vannføring. Beregningene foretas derfor med utgangspunkt i kraftverksdata ved Døvikfoss, som er lokalisert vel 10 km oppstrøms Hellefossen, og med en observasjonsperiode på ca. 90 år. Det foretas en skalering av disse dataene på en slik måte at de antas representative på de ulike aktuelle punktene nedover langs Drammenselva.

4.1. Frekvensanalyse på observerte og konstruerte data ved Døvikfoss

Flommer generert av snøsmelting og flommer som er resultat av nedbørepisoder tilhører to forskjellige populasjoner. Vårflommene er årvisse, har ofte stort volum og lang varighet, og stiger moderat mot høyere gjentakintervall. Høstflommene kan være små eller mangle mange år, har ofte et spissere flomforløp med mindre volum og kortere varighet, og stiger ofte raskere mot høye gjentakintervall. I vassdrag med hyppighet av både høst- og vårflommer er det vanlig å utføre separate analyser av vår- og høstflommene, og ekstrapolere hver for seg (Sælthun 1997). I store østlandsvassdrag som Drammensvassdraget er det stort sett vårflommer som er dominerende, men det forekommer også at årets største flom inntreffer om høsten. To av

de 20 største årsflommene ved Døvikfoss inntreer om høsten, i september og oktober, og rangeres som den 5. og 20. største flommen. Totalt sett over hele observasjonsperioden ved Døvikfoss inntreer 78 % av de største flommene hvert år i månedene april – juli, mens 22 % inntreer i månedene august – november. Til tross for at høstflommene i vassdraget stort sett er mindre enn vårflommene, er det ikke uvanlig med stor vannføring om høsten. Dersom analysen gjøres kun mhp. årsflommer kan en risikere at andre store flommer i et år 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. I og med at store flommer i Drammensvassdraget kan opptre både vår og høst, er det derfor valgt å analysere både vårflommer, høstflommer og årsflommer.

For å få et inntrykk av endringer av flomforholdene ved Døvikfoss som følge av reguleringer oppstrøms, er største årlige flomvannføring siden 1913 vist sammen med løpende 10-års middel i figur 4. Figuren viser at det før 1940 var betydelig større flomvannføringer sammenlignet med perioden etter 1940. Det er imidlertid avtagende trend i størrelsen på flomvannføringer i hele perioden.



Figur 4. Flomvannføring ved Døvikfoss. Største årlige flomvannføring er plottet sammen med løpende 10-års middel.

Det er valgt å gjøre frekvensanalyse på dataserien ved Døvikfoss både for hele observasjonsperioden, for perioden etter 1940 da det skjedde en markert endring i flomstørrelsene og for en periode fra slutten av 1970-tallet da det ikke har kommet til nye reguleringsmagasiner i særlig grad. Flomforholdene etter slutten av 1970-tallet bør derfor være representative for flomforholdene som kan ventes i framtida ved lave gjentaksintervall. Eventuell flomdempning som følge av reguleringene blir det da direkte tatt hensyn til i beregningene. En sammenligning av middelflom og frekvensfaktorer for disse periodene vil gi en indikasjon på de endrede flomforholdene (tabell 6). Figur 3 viser at minimumskurven for vannføring i perioden etter 1977 ligger

høyere, spesielt vinterstid, enn for perioden før 1977. Maksimumskurven ligger lavere. Dette er naturlige konsekvenser av økt reguleringsgrad.

Dataserien for vannføring ved Døvikfoss består i stor grad av kraftverksdata og er derfor som tidligere beskrevet (kap. 3.1) noe usikker. Som et sammenligningsgrunnlag er det laget alternative dataserier for Døvikfoss ved å benytte en kombinasjon av målestasjonene 12.99 Skålfoss i Snarumselva, 12.113 Kråkefjord ndf. i Simoa og målestasjonen 12.284 Geithus i Drammenselva nedstrøms Tyrifjorden. Det er å bemerke til disse alternative dataseriene ved Døvikfoss at dataserien 12.284 Geithus også består av kraftverksdata, som er beheftet med en viss usikkerhet ved omregning til vannføring. Addisjon av døgnmiddelvannføringen for hver dag i den felles observasjonsperioden, 1967-1998, for disse målestasjonene vil gi en alternativ dataserie ved Døvikfoss. For å inkludere avrenningen fra de mellomliggende arealene (delfeltene) mellom målestasjonene i Simoa og i Snarumselva og Døvikfoss i denne alternative dataserien, er det foretatt en skalering av dataseriene ved Skålfoss og Kråkefjord før addisjon. Skaleringen består i at observerte data i et representativt vassdrag er skalert mhp. forskjell i areal og spesifikk avrenning i forhold til delfeltene. Som representativt vassdrag er valgt et vassdrag i nærheten med areal i samme størrelsesorden og omtrent samme høydefordeling, slik at avrenningsforholdene ved flom blir representative for delfeltet. Av slike vassdrag i nærheten som er noenlunde representative for disse delfeltene i Simoa og Snarumselva, er 12.193 Fiskum, 3.22 Høgfoss og 15.74 Skorge. Fiskum har mindre areal, men omtrent samme høydefordelingen. Skorge har også lite areal, men representativ høydefordeling. Høgfoss er bedre egnet mhp. størrelsen på feltareal, men ligger noe lavere. Det ble laget tre alternative serier for Døvikfoss med skalering først mhp. Fiskum (Alt.1) som representativt felt, deretter med Høgfoss (Alt.2), og med Skorge (Alt.3). Til sist ble det foretatt en skalering kun mhp. forskjell i feltareal mellom målestasjonene i Simoa og Snarumselva og delfeltene (Alt.4).

Alt.1 Døvikfoss = 12.284 Geithus + [12.99 Skålfoss x (2,25 x 12.193 Fiskum)] + [12.113 Kråkefjord x (3,46 x 12.193 Fiskum)]. Fellesperiode:1977-1998.

Alt.2 Døvikfoss = 12.284 Geithus + [12.99 Skålfoss x (0,45 x 3.22 Høgfoss)] + [12.113 Kråkefjord x (0,71 x 3.22 Høgfoss)] Fellesperiode:1977-1998.

Alt.3 Døvikfoss = 12.284 Geithus + [12.99 Skålfoss x (1,29 x 15.74 Skorge)] + [12.113 Kråkefjord x (1,98 x 15.74 Skorge)] Fellesperiode:1982-1999.

Alt.4 Døvikfoss = 12.284 Geithus + 12.99 Skålfoss x 1,02 + 12.113 Kråkefjord x 1,26
Periode: 1967-1998

Skalering av dataene ved Skålfoss (5110 km²) og Kråkefjord (702 km²) kun mhp. forskjell i feltareal i forhold til de respektive delfeltene (127 km² og 183 km²), som i Alt. 4, antas å være det minst representative alternativet. Ved slik arealskalering antas det at den spesifikke avrenningen er den samme i delfeltene som i hoveddelen av vassdragene ved flom, og dette er lite sannsynlig. I de andre alternativene er det derfor valgt å benytte vassdrag i nærheten som er sammenlignbare med delfeltene.

Resultatet av frekvensanalysene på disse dataseriene fremgår av tabell 6. Det framgår at frekvensfaktorene for den observerte serien ved Døvikfoss er svært lik frekvensfaktorene for de konstruerte dataseriene ved Døvikfoss (Alt.1, Alt.2 og Alt.4) for fellesperioden 1977-1998. Frekvensfaktorene for Alt.3 stemmer også godt overens med de øvrige, men perioden er kortere (1982-1998). På bakgrunn av dette kan det antas at frekvensfaktorene beregnet direkte fra observerte data ved Døvikfoss er representative for strekningen. Døvikfoss representativitet for området ble også sjekket ved å sammenligne de beregnede frekvensfaktorer for hele observasjonsperioden (1912-1999) med beregnede frekvensfaktorer for andre lange måleserier i store delvassdrag i Drammensvassdraget (f. eks. Skålfoss, Kistefoss nedstrøms Randsfjorden og Killingstryken nedstrøms Sperillen). Dette viste at frekvensfaktorene for Døvikfoss ligger godt innenfor variasjonsområdet for andre målestasjoner i vassdraget. I den videre analysen er det på bakgrunn av dette valgt å beregne frekvensfaktorene direkte fra observerte data ved Døvikfoss. Av samme årsak er sesonganalyse også gjort kun på observerte data ved Døvikfoss, se tabell 7.

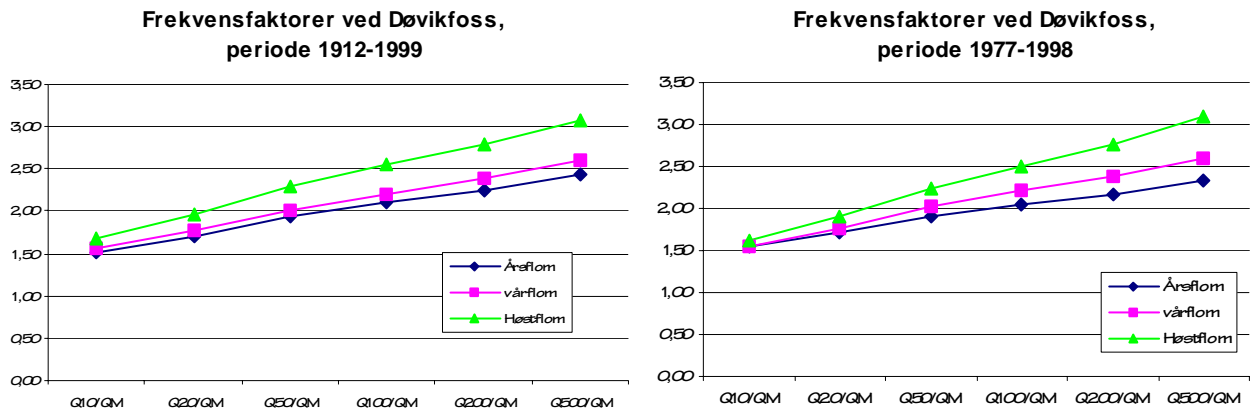
Tabell 6. Flomfrekvensanalyse på årsflommer for målestasjoner i nedre deler av Drammensvassdraget, Q_T/Q_M

Stasjon	Periode	Ant. år	Varighet døgn	Q_M l/s*km ²	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
Observerte data:												
12.68 Døvikfoss	1912-1999	87	1	68,9	1103	1,31	1,52	1,71	1,94	2,10	2,24	2,42
12.68 Døvikfoss	1912-1940	28	1	84,5	1354	1,28	1,46	1,62	1,80	1,93	2,04	2,18
12.68 Døvikfoss	1940-1999	60	1	61,1	979	1,30	1,49	1,65	1,83	1,94	2,05	2,16
12.68 Døvikfoss	1912-1976	64	1	73,6	1179	1,27	1,47	1,65	1,87	2,03	2,18	2,37
12.68 Døvikfoss	1977-1998	22	1	56,4	903	1,34	1,54	1,71	1,91	2,04	2,17	2,33
12.68 Døvikfoss	1982-1998	17	1	52,9	848	1,35	1,57	1,76	1,99	2,15	2,30	2,49
12.99 Skålfoss	1889-1999	108	1	106,0	541	1,26	1,46	1,64	1,87	2,03	2,19	2,41
12.113 Kråkefjord	1930-1999	69	1	165,8	116	1,28	1,54	1,79	2,12	2,38	2,65	3,02
12.284 Geithus	1967-1998	31	1	49,0	483	1,32	1,54	1,75	2,00	2,18	2,35	2,57
12.228 Kistefoss	1916-1999	83	1	125,9	461	1,26	1,41	1,55	1,70	1,80	1,90	2,03
12.85 Killingstryken	1905-1999	94	1	88,1	1,53	1,31	1,72	1,96	2,14	2,30	2,51	2,66
Konstruerte data:												
Alt.1 Døvikfoss	1977-1998	21	1	58,2	932	1,32	1,52	1,69	1,89	2,03	2,15	2,29
Alt.2 Døvikfoss	1977-1998	21	1	57,6	922	1,32	1,52	1,70	1,91	2,04	2,17	2,31
Alt.3 Døvikfoss	1982-1998	16	1	55,4	888	1,32	1,52	1,69	1,89	2,03	2,17	2,33
Alt.4 Døvikfoss	1977-1998	21	1	58,9	943	1,32	1,52	1,70	1,90	2,03	2,16	2,30

Tabell 7. Flomfrekvensanalyse på vår- og høstsesong ved Døvikfoss, Q_T/Q_M

Stasjon	Periode	Ant. år	Varighet døgn	Q_M l/s*km ²	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
Vår (01.01.-31.07.)												
12.68 Døvikfoss	1912-1999	88	1	65,2	1044	1,32	1,55	1,76	2,02	2,20	2,38	2,60
12.68 Døvikfoss	1977-1998	22	1	54,7	876	1,32	1,55	1,76	2,02	2,20	2,38	2,60
Høst (01.08.-31.12.)												
12.68 Døvikfoss	1912-1999	87	1	42,1	675	1,39	1,68	1,96	2,30	2,54	2,78	3,08
12.68 Døvikfoss	1977-1998	22	1	33,6	538	1,35	1,63	1,89	2,24	2,50	2,76	3,11

Frekvensanalyse på vår- og høstsesong gir som forventet lavere middelflom sammenlignet med årsflomverdier, men middelflomverdien for vårsesong er omtrent på nivået med middelflom beregnet for årsflommer. Frekvenskurven både for høst- og vårsesong er brattere enn for årsflommer, både for perioden 1912-1999 og perioden 1977-1998, se figur 5.

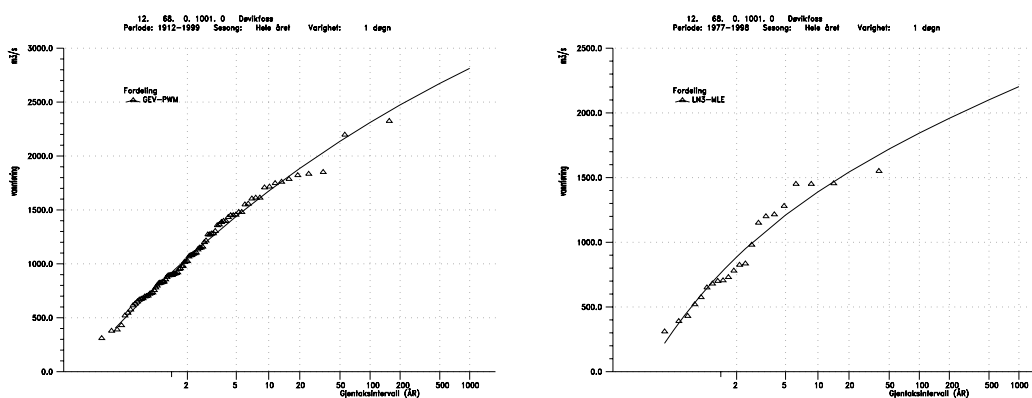


Figur 5. Frekvensanalyser for vår- og høstsesong sammenlignet med årsflom ved Døvikfoss, for perioden 1912-1999 (til venstre) og 1977-1998 (til høyre).

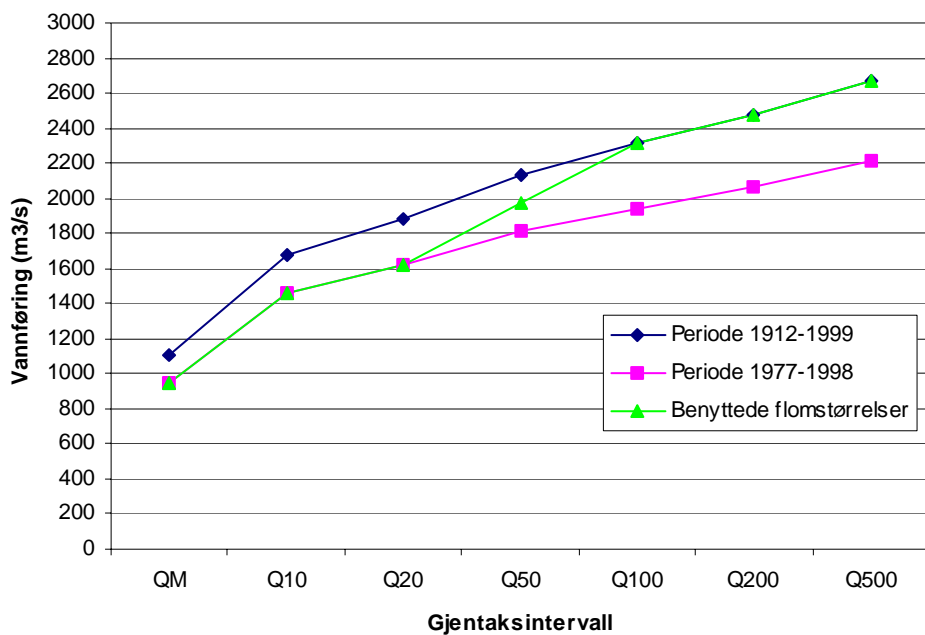
Som det også fremgår av tabell 6, er beregnet middelflom, QM, på observerte data fra Døvikfoss i perioden 1977-1998 i underkant av middelflom beregnet for alle de konstruerte seriene ved Døvikfoss, med unntak av Alt. 3 som er beregnet over en kortere periode. Som det fremgår av kap. 3.1 gir kraftverksdataene både ved Døvikfoss og Geithusfoss (som inngår i de konstruerte seriene) for lav vannføring sammenlignet med faktiske målinger av vannføring ved flom. Middelflomverdiene som er fremkommet ved frekvensanalyse direkte på kraftverksdataene (QM i tabell 6) antas derfor å være for lave i forhold til det reelle. Dersom feilen skyldes unøyaktigheter i luker, hvilket er mest sannsynlig ved stor vannføring, vil feilen sannsynligvis bli større med økende vannføring. Dette ivaretas i de videre beregningene ved at middelflom ved Døvikfoss er økt med ca. 50 m³/s, til 950 m³/s (årsflom) og 590 m³/s (høstflom), i forhold til beregnet verdi fra kraftverksdataene. Ved at middelflom videre skaleres med økende frekvensfaktor ved ulike gjentaksintervall antas en tilsvarende økning i feilestimert vannføring. Ved frekvensanalyse på hele observasjonsserien er det ikke foretatt noen økning av den beregnede middelflomverdien, da det er antatt at unøyaktigheter i luker er noe som oppstår med årene, og at dette da har mindre betydning når hele observasjonsserien betraktes.

Ved små lave gjentaksintervall har reguleringene i vassdraget betydelig innvirkning på flomstørrelsene ved Døvikfoss. Frekvensanalyse for små gjentaksintervall er derfor utført for perioden etter siste regulering, slik at flomstørrelsene blir representative for dagens forhold. Tilveksten av reguleringsmagasiner i Drammensvassdraget har vært

liten siden slutten av 1970-tallet, og frekvensanalyse for perioden 1977-1998 (fig. 6) regnes som egnet for beregning av flomstørrelser som er representative for dagens regulerte forhold. Med økende flomstørrelse vil sannsynligvis reguleringenes flomdempende effekt avta, slik at flomstørrelsene ved store gjentaksintervall nærmer seg naturlige (uregulerte) forhold. Frekvensanalyse skulle derfor ideelt sett vært utført for en lengre periode før tilveksten av reguleringer tok til, og benyttet en tilnærming til denne frekvenskurven ved store gjentaksintervall. Tilveksten av magasiner i Drammensvasdraget startet imidlertid ved observasjonsperiodens begynnelse ved Døvikfoss. Det er dermed ikke mulig å gjøre frekvensanalyse på uregulerte forhold. I stedet er det gjort frekvensanalyse på hele observasjonsserien, 1912-1999 (fig. 6), og en overgang til denne ved store gjentaksintervall, se figur 7. I figur 7 er frekvenskurvene for hele den regulerte observasjonsperioden og for perioden etter 1977 inntegnet sammen med kurven for hvordan reguleringseffekten antas å reduseres med økende gjentaksintervall. Med bakgrunn i den 22 år lange dataserien som representerer dagens forhold, kan det anslås flomstørrelser ved gjentaksintervall på opp mot 30-40 år med god nøyaktighet. Fra gjentaksintervall 50 år og større antas det, som det fremgår av figuren, at den flomdempende effekten avtar gradvis. Ved 100 års gjentaksintervall er det antatt at denne effekten har avtatt i så stor grad at frekvensanalysen som er foretatt på hele observasjonsserien er representativ for flomstørrelsene. Ved hvilken flomstørrelse reguleringseffekten på flomforholdene begynner å avta er imidlertid vanskelig å anslå. Beregnede flomverdier er derfor meget usikre ved store gjentaksintervall. I tabell 8 er flomverdiene ved de ulike gjentaksintervall angitt for hele observasjonsperioden (1912-1999), for perioden etter at tilveksten av reguleringer avtok (1977-1998) og for flomforholdene slik de antas å være i framtida ved store og lave gjentaksintervall (representative flomstørrelser). Med utgangspunkt i de benyttede flomverdiene er det foretatt en omregning til frekvensfaktorer, Q_T/Q_M , med Q_M på $950 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 6. Flomfrekvenskurve for Døvikfoss (årsflommer) for perioden 1912-1999 (til venstre) og 1977-1998 (til høyre).



Figur 7. Flomverdier for Døvikfoss (årsflommer). Øverste kurve viser flomstørrelsene beregnet ved frekvensanalyse for hele observasjonsperioden 1912-1999. Nederste kurve viser flomstørrelser beregnet ved frekvensanalyse for perioden 1977-1998, som regnes som representative for dagens regulerte forhold. Midterste kurve antas representere regulerte forhold ved store gjentaksintervall.

Tabell 8. Resultat av flomfrekvensanalyse ved Døvikfoss, døgnmiddelverdier (m³/s) for årsflommer.

	Periode	Varighet	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
Årsflommer:										
12.68 Døvikfoss	1912-1999	1	1100	1440	1680	1890	2140	2310	2470	2670
12.68 Døvikfoss	1977-1998	1	950	1270	1460	1620	1810	1940	2060	2210
Representative flomstørrelser			950	1270	1460	1620	1970	2310	2470	2670
Frekvensfaktorer, Q_T/Q_M				1,34	1,54	1,71	2,08	2,43	2,60	2,81

Samme resonnement som er benyttet ved årsflommer er også benyttet for sesongfordelingene. Resultatene er vist i tabell 9.

Tabell 9. Resultat av flomfrekvensanalyse ved Døvikfoss, døgnmiddelverdier (m³/s) for vår- og høstflom.

	Periode	Varighet	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
Vår (01.01.-31.07.)										
12.68 Døvikfoss	1912-1999	1	1040	1380	1620	1840	2110	2300	2480	2720
12.68 Døvikfoss	1977-1998	1	920	1220	1430	1620	1860	2030	2190	2400
Representative flomstørrelser			920	1220	1430	1620	1980	2300	2480	2720
Frekvensfaktorer				1,32	1,55	1,76	2,16	2,50	2,70	2,95
Høst (01.08.-31.12.)										
12.68 Døvikfoss	1912-1999	1	680	930	1140	1320	1550	1720	1880	2080
12.68 Døvikfoss	1977-1998	1	590	790	950	1110	1310	1460	1620	1820
Representative flomstørrelser			590	790	950	1110	1430	1720	1880	2080
Frekvensfaktorer				1,35	1,63	1,89	2,45	2,93	3,21	3,55

Det framgår av tabell 8 og tabell 9 at benyttede flomstørrelser beregnet for årsflom og vårflom er omtrent like. Forskjellene i flomverdier beregnet for års- og vårflom er størst ved middelflom (Q_M) og ved 500-årsflom. Avvikene er i størrelsesorden 30-40 m³/s ved Q_M og Q_{500} . Disse forskjellene ligger innenfor usikkerheten i beregningene. I den videre beregningen regnes derfor flomstørrelser beregnet for årsflom som representative også for vårflom. Flomstørrelser for høstflommer er 60-80% av årsflommer ved ulike gjentaksintervall.

4.2. Frekvensanalyse på konstruerte data på strekningen fra Hellefoss til utløpet i fjorden

På denne strekningen skal det beregnes flomverdier på tre punkter i Drammenselva, ved Hellefossen, nedstrøms tilløpet fra Vestfosselva og ved utløpet i fjorden.

Det finnes ingen lengre observerte dataserier av vannføring på denne strekningen. Flomberegningene må derfor baseres på en skalering av den observerte dataserien ved Døvikfoss. Skaleringen er foretatt etter samme metode som beskrevet for de konstruerte dataseriene (Alt.1, Alt.2 og Alt. 3) ved Døvikfoss, ved å benytte et representativt vassdrag i nærheten som skaleres og adderes til dataserien ved Døvikfoss, slik at dataene blir representative for de aktuelle delfeltene på strekningen. På strekningen mellom Døvikfoss og Hellefoss gir tilsiget fra Bingselva det største bidraget fra delfeltet på tilsammen 352 km². På neste strekning, til nedstrøms tilløpet fra Vestfosselva, gir Vestfosselva det største bidraget fra et felt på 533 km². Honselva tilløper også på denne strekningen med et areal på 45 km². For begge disse delfeltene er data fra 12.113 Kråkefjord i Simoa regnet som representative, og skalert opp for forskjell i feltareal i forhold til hvert av delfeltene. Kråkefjord har større areal og de øverste delene av feltet ligger noe høyere enn delfeltene. Nedbørfeltet til Kråkefjord har dermed antaglig mer snø og lengre smeltesesong enn områdene lenger ned i vassdraget. Dermed er det sannsynlig at avrenningen fra delfeltene overestimeres. I

Drammenselva ved Hellefossen og nedstrøms Vestfosselva er det på bakgrunn forskjellen i feltareal laget konstruerte dataserier som følger:

Dataserie Hellefoss = 12.68 Døvikfoss + 0,50 x 12.113 Kråkefjord

Dataserie nedstr. Vestfosselva = 12.68 Døvikfoss + 0,83 x 12.133 Kråkefjord

Resultater fra frekvensanalyser på disse konstruerte dataseriene er gjengitt i tabell 10 for årsflommer.

Fra nedstrøms Vestfosselva til utløpet ved Drammen er bidraget til Drammeselva ved flomepisoder svært lite på de 160 km², og er neglisjert i beregningene.

Tabell 10. Flomfrekvensanalyse på årsflommer for konstruerte dataserier i de aktuelle punktene i Drammenselva, Q_T/Q_M

Stasjon	Periode	Ant. år	Varighet døgner	Q_M l/s*km ²	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
Hellefoss	1931-1999	69	1	64,6	1060	1,31	1,50	1,67	1,87	2,00	2,12	2,26
Hellefoss	1977-1998	22	1	56,6	940	1,34	1,54	1,71	1,90	2,04	2,16	2,32
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	1931-1999	69	1	66,3	1120	1,30	1,48	1,63	1,80	1,93	2,04	2,19
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	1977-1998	22	1	58,2	990	1,35	1,58	1,77	1,99	2,13	2,26	2,41

Tabell 10 viser at frekvensfaktorene for årsflommer for de konstruerte seriene i Drammenselva ved Hellefoss og nedstrøms tilløpet fra Vestfosselva for perioden 1977-1998 er godt i samsvar med beregnede frekvensfaktorer ved Døvikfoss for samme periode, se tabell 6. Dette er som forventet i og med at de konstruerte seriene er laget på bakgrunn av skalering av dataene ved Døvikfoss. Frekvensfaktorene for årsflommer ved Døvikfoss fra tabell 8 ansees som representative for hele strekningen fra Døvikfoss ned til utløpet i fjorden. Frekvensfaktorene for høstflommer fra tabell 9 er beregnet direkte fra observerte data ved Døvikfoss regnes også som representative for strekningen.

På samme måte som for Døvikfoss er middelflomverdiene økt med ca. 50 m³/s i de videre beregningene for perioden 1977-1998 i forhold til verdiene i tabell 10 (årsflommer). Benyttede middelflomverdier og frekvensfaktorer på strekningen Hellefossen til Drammen er vist i tabell 11.

Tabell 11. Benyttede middelflomverdier (Q_M) og frekvensfaktorer (Q_T/Q_M) i de aktuelle punktene på strekningen i Drammenselva som skal flomberegnes, årsflommer.

Stasjon	Areal	Varighet døgn	Q_M l/s*km ²	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
Årsflommer og vårflokker:											
Døvikfoss	16020	1	59,3	950	1,34	1,54	1,71	2,08	2,43	2,60	2,81
Hellefoss	16372	1	59,6	990	1,34	1,54	1,71	2,08	2,43	2,60	2,81
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	16954	1	61,0	1040	1,34	1,54	1,71	2,08	2,43	2,60	2,81
Drammenselva ved utløpet i fjorden	17114	1	60,5	1040	1,34	1,54	1,71	2,08	2,43	2,60	2,81
Høst flommer (01.08.-31.12.):											
Døvikfoss	16020	1	36,5	590	1,35	1,63	1,89	2,45	2,93	3,21	3,55
Hellefoss	16372	1	37,0	620	1,35	1,63	1,89	2,45	2,93	3,21	3,55
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	16954	1	38,6	660	1,35	1,63	1,89	2,45	2,93	3,21	3,55
Drammenselva ved utløpet i fjorden	17114	1	38,3	660	1,35	1,63	1,89	2,45	2,93	3,21	3,55

Tabell 11 med anslåtte middelflomverdier, Q_M , og forholdstall Q_T/Q_M , danner grunnlag for beregning av flomvannføringene, Q_T , i de ulike punktene. Resultatene er vist i tabell 12, der flommer med forskjellig gjentaksintervall, Q_T , for varighet ett døgn er presentert.

Tabell 12. Flomvannføringer ved tre ulike punkter i nedre deler av Drammenselva, døgnmiddelvannføring i m³/s for årsflommer, vår- og høstflommer, avrundet til nærmeste 10 m³/s.

Stasjon	Areal	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
Årsflommer og vårflokker:									
Døvikfoss	16020	950	1270	1460	1620	1970	2310	2470	2670
Hellefoss	16372	990	1320	1520	1690	2050	2400	2570	2780
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	16954	1040	1390	1590	1770	2150	2520	2700	2910
Drammenselva ved utløpet i fjorden	17114	1040	1390	1590	1770	2150	2520	2700	2910
Høstflommer (01.08.-31.12.):									
Døvikfoss	16020	590	790	950	1110	1430	1720	1880	2080
Hellefoss	16372	620	830	1000	1170	1500	1800	1970	2190
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	16954	660	880	1060	1240	1600	1920	2100	2330
Drammenselva ved utløpet i fjorden	17114	660	880	1060	1240	1600	1920	2100	2330

4.3. Kulminasjonsvannføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmidler.

Kulminasjonsvannføringen kan være adskillig større enn døgnmiddelvannføringen.

Det er spesielt karakteristisk for små vassdrag med rask flomstigning og spisse

flomforløp. I større vassdrag som Drammensvassdraget er situasjonen ofte slik at avløp fra forskjellige deler av feltet ankommer ett og samme punkt i hovedvassdraget på forskjellige tidspunkt. Som følge av dette er vannføringen i slike vassdrag ofte stor i flere påfølgende døgn. Dermed er forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring ofte lavt.

Kulminasjonsvannføringen anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$) mellom observert kulminasjonsvannføring (momentanvannføringen) og døgnmiddelvannføring beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget, og/eller eventuelt i nærliggende vassdrag, avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning (timesverdier). Grunnlaget for å anslå forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring i nedre deler av Drammenselva er tynt. Kraftverksdata registreres sjelden med oppløsning finere enn døgnverdier. Ved Døvikfoss og Geithusfoss finnes derfor ikke opplysninger om kulminasjonsvannføring. Forholdet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ i nedre deler av Drammenselva må derfor baseres på data fra sammenlignbare målestasjoner i nærheten der data med fin tidsoppløsning er tilgjengelig. Ved 12.99 Skålfoss i Snarumselva og 12.113 Kråkefjord i Simoa varierer $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ mellom 1,01 og 1,04 for flommer med gjentaksintervall opp mot 10-20 år. Ved Fosserrød nederst i Numedalslågen er $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ beregnet for en 10-årsflom i 1994 til 1,05 og for en middelflom til 10-årsflom i 1995 til 1,04. Ellers er det svært begrenset med data med tidsoppløsning finere enn døgnverdier i området. Med bakgrunn i dette sparsomme datagrunnlaget er det grunn til å anta at forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring på strekningen nederst i Drammenselva ikke er større enn 5 %. Det antas at $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ nederst i Drammenselva er lavere enn i Numedalslågen, med bakgrunn i at Drammensvassdraget er mer enn tre ganger større enn Numedalslågen (5197 km² ved 15.61 Fosserrød) og mer forgrenet. $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ i nedre deler av Drammensvassdraget anslås derfor til 1,03. Usikkerheten i dette anslaget betyr lite siden usikkerheten i de allerede beregnede flomstørrelsene som representerer døgnmidler er minst like usikre. Kulminasjonsvannføringen i de ulike punktene på strekningen er presentert i tabell 13.

Tabell 13. Flomvannføringer ved tre ulike punkter i nedre deler av Drammenselva, kulminasjonsvannføring i m³/s for årsflommer, vår- og høstflommer, avrundet til nærmeste 10 m³/s.

Stasjon	Areal	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$	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
Årsflommer og vårflokker:										
Døvikfoss	16020	1,03	980	1310	1510	1670	2030	2380	2550	2750
Hellefoss	16372	1,03	1020	1360	1560	1740	2110	2470	2650	2860
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	16954	1,03	1070	1430	1640	1820	2220	2590	2780	3000
Drammenselva ved utløpet i fjorden	17114	1,03	1070	1430	1640	1820	2220	2590	2780	3000
Høst (01.08.-31.12.)										
Døvikfoss	16020	1,03	600	810	980	1140	1470	1770	1930	2140
Hellefoss	16372	1,03	630	850	1030	1200	1550	1860	2030	2250
Drammenselva nedstr. Vestfosselva	16954	1,03	680	910	1100	1280	1650	1980	2160	2400
Drammenselva ved utløpet i fjorden	17114	1,03	680	910	1100	1280	1650	1980	2160	2400

I en tidligere flomberegning for Hellefossen, foretatt av NVE i 1992, ble dimensjonerende avløpsflom beregnet til 2980 m³/s (for sesong januar-juli) ved ruting av tilløpsflommen gjennom ovenforliggende magasiner. Foreliggende beregning gir Q₁₀₀₀ (kulminasjon) ved Hellefossen på ca. 3010 m³/s for samme sesong (Q_M = 986 m³/s, Q₁₀₀₀/Q_M = 2,96, Q_{mom}/Q_{mid} = 1,03), som er godt i samsvar med den tidligere beregningen. Årsaken til at foreliggende beregninger for Q₁₀₀₀ er i overkant av de tidligere beregningene for dimensjoneringsformål er at observerte data ved Døvikfoss på bakgrunn av kalibreringsmålinger er antatt å være for lave, slik at middelflomverdien er økt (kap. 4.1).

Øvre Eiker Energi AS, eier av Vestfossen kraftverk, opplyser at Q₁₀₀₀ ved kraftverket er beregnet til 126 m³/s. Dette gir en spesifikk avrenning på 245 l/skm² (nedbørfelt til Vestfossen kraftverk er 515 km²). Totalt tilløp til Drammenselva mellom Hellefossen og punktet nedstrøms tilløpet fra Vestfosselva ved Q₁₀₀₀ er ca. 180 m³/s etter de foreliggende beregningene. Totalt tilsig fra Honselva og restfeltet nedstrøms Vestfossen kraftverk er dermed ca. 50 m³/s ved Q₁₀₀₀, som gir en spesifikk avrenning på 740 l/skm² (67,3 km²). Sammenlignet med spesifikk avrenning også fra andre delfelt ved Q₁₀₀₀, for eksempel delfeltet mellom Døvikfoss og Hellefoss (352 km²) med en spesifikk avrenning på ca. 220 l/skm² (77 m³/s), er den spesifikke avrenningen for dette delfeltet usannsynlig høyt. Dette tilsier at tilsiget til Drammenselva fra delfeltet mellom Hellefossen og nedstrøms tilløpet fra Vestfosselva er for høyt estimert dersom en tar utgangspunkt i Q₁₀₀₀ ved Vestfossen kraftverk på 126 m³/s. Overestimering av flomvannføringen i denne størrelsesorden fra et slikt lite sidevassdrag har imidlertid liten betydning for vannføringen og vannstanden i Drammenselva, som har et bredt elveløp og en flomvannføring som er mange ganger så stor.

4.4 Ekstremvannstandsanalyse i sjøen ved Drammen havn

I Drammenselva på strekningen fra Hellefossen til utløpet i fjorden er det lite fall. Av denne grunn har vannstanden i fjorden innvirkning på flomvannstanden i nedre deler av Drammenselva. I Drammensfjorden kan det oppstå relativt stor stormflo, i 1987 var vannstanden i Drammensfjorden på ca. kote 1,9 m. Dette er høyeste observerte flo siden 1924.

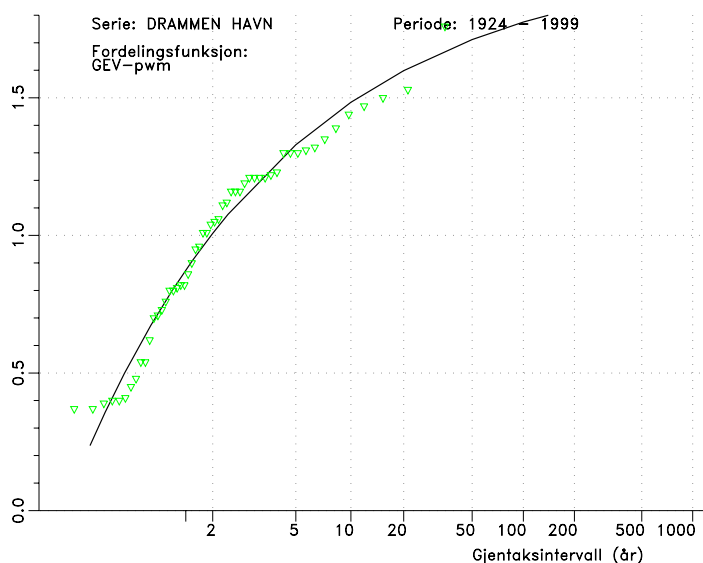
Ved konstruksjon av flomsonekart kombineres beregnede vannlinjer på bakgrunn av flomberegninger med ekstremvannstander i sjøen for å kunne fremstille et representativt oversvømt areal i kystområder. På bakgrunn av vannstandsobservasjoner ved Drammen havn, registrert av Statens kartverk Sjøkartverket (SKSK), er det derfor foretatt en frekvensanalyse på årsmaksima for perioden 1924-1999 og 1959-1999 (for sammenligning med Oslo). Analysen er foretatt ved bruk av en modifisert utgave av programmet "Ekstrem" fra NVE, tilpasset innlesning av data fra Sjøkartverket ("Sk_ekstrem") (Hansen & Roald 2000). Frekvenskurvetilpasningen ved Drammen havn er presentert i figur 8. I tabell 14 er vannstandene ved Drammen havn sammenlignet med tilsvarende for Oslo ved ulike gjentaksintervall.

De fleste og største flommer i Drammenselva ved Døvikfoss opptrer om våren. Årsmaksima for vannstand i Drammensfjorden opptrer nesten uten unntak om høsten og vinteren. Eneste observerte tilfellet i perioden 1924-1999 der årets største flom ved Døvikfoss opptrer samtidig med springflo var i oktober 1987. Dersom hvert års største høstflom sammenlignes med samme års høyeste flo er det også sjelden at disse sammenfaller i tid. I observert datagrunnlag for ekstremvannstander siden 1924 har dette skjedd tre ganger, i oktober 1958, oktober 1980 og oktober 1987.

Tabell 14.

Vannstander ved Drammen havn og Oslo ved ulike gjentakintervall beregnet ved fordelingsfunksjonen General Extreme Value (GEV-pwm). Størrelsene er gitt i cm relativt til NN54. Dataene er ikke korrigert for landheving. Dataene for Oslo er hentet fra Hansen & Roald (2000).

Gjentaksintervall	Drammen havn Vannstand (cm) 1924-1999	Drammen havn Vannstand (cm) 1950-1999	Oslo Vannstand (cm) 1950-1999	Differanse Vannstand (cm) 1950-1999
5	133	125	119	6
10	148	141	130	11
20	160	154	139	15
50	171	167	151	16
100	178	176	159	17
200	183	182	166	16
500	188	190	175	15



Figur 8. Frekvenstilpasningen til observerte data ved Drammens havn med fordelingsfunksjonen General Extreme value (GEV-pwm).

Sammenligning av tidevannstander ved Drammen havn og ved Oslo (tabell 14) viser at vannstandene er 10-20 cm høyere ved Drammen havn enn ved Oslo ved ulike gjentakintervall. Noe av årsaken til dette kan være at Svelvikstrømmen i innløpet til Drammensfjorden passerer gjennom et trangt og smalt sund, slik at det blir oppstuvning av store vannmengder inne i Drammensfjorden.

5. Observerte flommer

De største flommene i Drammenselva i senere tid opptrådte i løpet av de første 30 år av 1900-tallet da det fortsatt var relativt få reguleringsmagasiner i vassdraget. De seks største flommene ved Døvikfoss er listet opp i tabell 5. Fem av de seks største flommene var vårflommer som opptrådte i mai og juni, én er høstflom i september. De to største flommene, i slutten av juni i 1927 og i midten av juni 1926, hadde døgnmiddelvannføring på henholdsvis 2324 m³/s og 2197 m³/s. Tabell 12 viser at flommen i 1927 er estimert til en 100-årsflom, mens flommen i 1926 hadde gjentaksintervall på 50-100 år.

6. Usikkerhet

Datagrunnlaget for flomberegning i nedre deler av Drammenselva kan karakteriseres som noe tynt. Det grunnleggende datamaterialet er kraftverksdata bestående av driftsvannføring og overløp. Sammenligning av direkte vannføringsmålinger (ADCP-målinger) med kraftverksdata ved flom viser at kraftverksdataene er usikre. Videre finnes ingen observasjoner av vannføring på selve strekningen som skal flomberegnes, verken i hovedelva eller i sidevassdrag. Estimering og vurdering av bidraget fra sidevassdragene ved flom i hovedelva er derfor vanskelig. I tillegg er det begrensede opplysninger om forholdet mellom døgnmiddelvannføring og kulminasjonsvannføring på strekningen.

I tillegg til usikkerhetene som beskrevet over er det en hel del andre usikkerheter knyttet til slike flomberegninger. Ved hydrometriske stasjoner er de observasjoner som foreligger av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på et antall samtidige observasjoner av vannstand og målinger av vannføring i elven. Men disse direkte målinger er ikke utført på ekstreme flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert samband mellom vannstander og vannføringer, dvs. også ”observerte” flomvannføringer kan derfor inneholde en stor grad av usikkerhet.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at 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 mer eller mindre større enn største kalenderdøgnmiddel.

I tillegg er de eldste dataene i databasen basert på en 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 døgnmidlet.

Dataene med fin tidsopløsning er 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 cirka 10–15 år tilbake. Det er derfor ikke mulig å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

Tross store usikkerheter i flomberegningene er alle flomtall presentert med en nøyaktighet på $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette er gjort av praktiske grunner. I og med at flomtall er presentert for flere punkter i vassdraget og for flere gjentaksintervall, vil en større utjevning kunne gi uoverenstemmelse i dataene.

I Drammensvassdraget er det i tillegg kompliserte forhold når det gjelder vassdragsreguleringenes påvirkning på flomforholdene. Dette medfører usikkerhet i hvilken observasjonsperiode som skal legges til grunn for beregning av dagens flomforhold og til hvilket gjentaksintervall for flommer dette kan antas å være representativt. Flomvannføringer og flomvannstander er til dels også avhengig av regulantenens manøvrering av dammer og drift av kraftverk, noe som ikke kan knyttes til bestemte gjentaksintervall. I beregningene er det antatt at perioden fra slutten av 1970-tallet, ca. 20 år med data ved Døvikfoss, er representativ for dagens forhold, siden tilveksten av reguleringsmagasiner etter den tid har vært ubetydelig. I flomberegninger i forbindelse med flomsonekartlegging er praksis at flomverdier for større gjentaksintervall antas å nærme seg flomverdier beregnet for en uregulert periode. I beregningene for Drammen er flomverdiene for store gjentaksintervall antatt å tilsvare flomverdiene beregnet for hele observasjonsperioden (87 år med data siden 1912), siden vassdraget er regulert fra observasjonsperiodens begynnelse og det ikke finnes noen uregulert periode i observerte data. Dette medfører stor usikkerhet i flomverdier, spesielt på store gjentaksintervall.

Det nevnes at forutsetningene ved flomberegning for flomsonekartlegging er forskjellig fra de som legges til grunn for flomberegning for damsikkerhetsformål. Ved beregning av dimensjonerende flom for en dam legges vanligvis de strengeste mulige forutsetningene vedrørende reguleringene til grunn, blant annet at magasinene ligger på HRV ved flommens begynnelse. Ved beregning for flomsonekartlegging legges vanligvis observerte flomvannføringer til grunn, hvor reguleringene ofte har virket dempende på flommer, nedtappede magasin osv. Det kan derfor av og til oppleves som om f.eks. en 500-årsflom beregnet for flomsonekartlegging er uforholdsmessig sett mye mindre enn dimensjonerende flom (1000-årsflom) i samme vassdrag.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Konklusjonen for denne beregning er kun den at datagrunnlaget er noe tynt, og beregningen kan ut fra dette kriterie klassifiseres i klasse 2, i en skala fra 1 til 3 hvor 1 tilsvarer beste klasse.

Referanser

Astrup, M.: Homogenitetstest av hydrologiske data. Rapport nr. 7-2000, NVE.

Førland, E. J.: Nedbørnormaler, normalperiode 1961-1990. DNMI-rapport nr. 39/93 Klima.

Hansen, H. & Roald, L. 2000. Ekstremvannsanalyse i sjø ved utvalgte stasjoner. Dokument nr. 11-2000. NVE.

NVE 1987: Avrenningkart over Norge (1930-1960), 1:500 000.

Pettersson, L.E. 2000: Prosjekthåndbok for Flomsonekartprosjektet. Retningslinjer for flomberegninger. Versjon 1.0, NVE.

Sælthun, N. R. 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport nr. 14-97, NVE.

Wingård, B. 1978: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport nr. 2-78, NVE.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Dokumentserien i 2001

- Nr. 1 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Jostedøla (076.Z). Flomsonekartprosjektet (42 s.)
- Nr. 2 Hilleborg K. Sorteberg: Operasjonell snøinformasjon (40 s.)
- Nr. 3 Ola Kjeldsen (red.): Sikkerhet ved hydrologisk arbeid (61 s.)
- Nr. 4 Erik Holmqvist: Flomberegning for Hornindalsvassdraget. Flomsonekartprosjektet (19 s.)
- Nr. 5 Lars Evan Pettersson: Flomberegning for Nea-Nidelvassdraget. Flomsonekartprosjektet (26 s.)
- Nr. 6 Inger Sætrang: Statistikk over tariffer i regional- og distribusjonsnettet 2001 (54 s.)
- Nr. 7 Trond Taugbøl, Jan Henning L'Abée-Lund: Physical habitat restoration in canalised watercourses – possibilities and constraints (90 s.)
- Nr. 8 Turid-Anne Drageset: Flomsonekartprosjektet. Flomberegning for Drammenselva (012.Z) (29 s.)