

# RAPPORT

01 1994



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

*Truls Erik Bønsnes  
Lars Andreas Roald*

## REGIONAL FLOMFREKVENSANALYSE

Sambandet mellom momentanflom og døgnmiddelflom



HYDROLOGISK AVDELING

## FORORD

Denne rapporten behandler resultatene fra en regional undersøkelse over sambandet mellom kulminasjonsverdier og døgnverdier for årlige sesongflommer. Arbeidet inngår i prosjektet A-169 Regional flomfrekvensanalyse og er gjennomført på oppdrag for Vassdragsregulantenes forening (VR). Medarbeidere i prosjektet har vært: Truls Erik Bønsnes, Lars A. Roald (prosjektleder) og Nils Roar Sælthun.

Oslo, januar 1994



Arne Tollan  
avdelingsdirektør



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

TITTEL REGIONAL FLOMFREKVENSANALYSE Sambandet mellom momentanflom og døgnmiddelflom	<b>RAPPORT</b> Nr. 1 1994
SAKSBEHANDLER Truls Erik Bønsnes Lars Andreas Roald	DATO 28.1-1994
	RAPPORTEN ER BEGRENSET
OPPDRAGSGIVER Vassdragsregulantenenes forening (VR)	OPPLAG 50

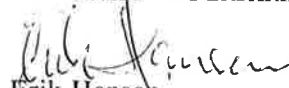
#### SAMMENDRAG

Denne rapporten tar for seg forholdet mellom momentanflom og døgnmiddelflom. I analysen er det sett nærmere på om det kan opprettes et samband mellom dette forholdet og feltkarakteristika. Framgangsmåten som benyttes er å forsøke og knytte forholdet til felt-parametere ved hjelp av multipel regresjon. Videre er det også sett nærmere på om forholdet endrer seg ved forskjellige flomkvantiler, og om dette har innflytelse på sambandet med felt-parametere.

Areal og sjøprosent viser seg å være de mest dominerende variablene, noe som bekrefter at dempningen i avløpet har betydning for forholdet mellom momentan- og døgnmiddelflom. Det viser seg at stabiliteten i forholdet ved forskjellige gjentakintervall varierer noe, men det er de små endringene som dominerer. Dette har imidlertid begrenset innflytelse på sambandet med felt-parametere.

EMNEORD/SUBJECT TERMS  
Momentanflom, døgnmiddelflom

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

  
Erik Hansen  
Seksjonsjef

0.	SAMMENDRAG .....	7
1.	BAKGRUNN .....	8
2.	PROBLEMSTILLING .....	9
3.	DATAGRUNNLAG .....	10
	3.1 Sesonginndeling .....	10
	3.2 Stasjonsutvalget, serielengder .....	10
	3.3 Datakvalitet, oppbygging av nye filer .....	10
	3.4 Felt-parametere .....	13
4.	FORHOLDET MOMENTANFLOM DØGNMIDDELFLOM .....	15
	4.1 Bestemmelse av forholdet midlere momentanflom og midlere døgnflom ..	15
	4.2 Samband mellom forholdstallet og gjentakintervallet .....	17
	4.3 Regresjon mot felt-parametere .....	20
5.	VERIFIKASJON .....	27
6.	KONKLUSJONER, ANBEFALINGER .....	35
7.	LITTERATURLISTE .....	37
	TILLEGG .....	39

## 0. SAMMENDRAG

De landsomfattende regionale flomanalysene som til nå er gjennomført (Wingård, 1976; Tveito, 1992), behandler flomstørrelser som i prinsipp oppfattes som døgnmiddelverdier. I mindre felt og i felt med liten flomdempning kan vannføringen variere betydelig innen et døgn. I denne rapporten gis resultatene av en undersøkelse om det finnes et samband mellom kulminasjonsflommen, heretter betegnet som momentanflommen, og døgnmiddelflommen for en stasjon. Dette sambandet kan eksempelvis uttrykkes som et forholdstall mellom midlere momentanflom og midlere døgnmiddelflom. I denne undersøkelsen vil det bli sett nærmere på om det er mulig å opprette et samband mellom dette forholdet og feltkarakteristika. Framgangsmåten som benyttes er å forsøke å knytte dette forholdet til felt-parametere ved hjelp av multippel regresjon. Videre er det også av interesse å vurdere om forholdstallet endres hvis det benyttes forskjellige flomkvantiler til beregningen, og om dette har innflytelse på sambandet med felt-parameterene.

Observasjonsseriene er underkastet en kvalitetsanalyse i form av spredningsplott. Ved plotting av sammenhørende data (parvis momentan/ døgnmiddel i hver sesong) er det mulig å vurdere de enkelte observasjoner noe nærmere. Ekstremverdier (outliers) ble på denne måten kontrollert for eventuelle feil og eventuell tilhørighet til andre populasjoner med annen fordeling. Plotting og analyse av korrelasjon og spredning er med på å danne et bilde av nøyaktigheten ved å benytte forholdstallet til å anslå momentanverdien. Lav korrelasjon og stor spredning fører til større usikkerhet. Korrelasjonskoeffisientene mellom sammenhørende verdier av momentan- og døgnmiddelflommer har i dette materialet verdier mellom 0.85 og 0.99. Smelteflommer har en relativt lang varighet og stort volum. Dette gir et mer dempet avløp og svært ofte et moderat avvik mellom momentan- og døgnmiddelflommen. Regnflommene er oftest kortvarige og er hovedsakelig forårsaket av nedbør med stor intensitet. Det antas derfor å en større forskjell på momentan- og døgnmiddelverdi i høstsituasjoner hvor det er regnflommer som dominerer. En samordning av forholdet i analysematerialet i sortert orden bekrefter denne antagelsen. Den høyeste forholdstallet er på noe under 3 om høsten, mens maksimum ligger på 2 når det gjelder vårmaterialet. Det er bare ved noen få stasjoner at høstverdiene er lavere enn vårverdiene.

Det viser seg at stabiliteten i forholdstallet ved forskjellige gjentaksintervall kan variere noe. Selv om stasjoner med relativt stabile forholdstall og små endringer dominerer, er det enkelte tilfelle med tildels store differanser. De største differansene er å finne i høstsesongen.

Effektiv sjøprosent og areal viser seg å være de mest dominerende variabler i prediksjonsligningene. Samvariasjonen med effektiv sjøprosent bekrefter at dempningen i avløpet har stor betydning for forholdstallet. En høy partiell korrelasjon til arealet kan tyde på at dempningen knyttet til feltstørrelsen også er avgjørende. De dominerende variablene i prediksjonsligningene er imidlertid relativt stabile og forandres lite ved tilpasningene på 10 og 20 års kvantilene.

Det er også utført en verifikasjon på et uavhengig stasjonsutvalg, hvor vårmaterialet ga de beste resultatene. Verifikasjonen er kun utført på forholdstallet av empiriske middelverdier og ikke på forholdstall basert på gjentaksintervall.

## 2. PROBLEMSTILLING

Undersøkelsen bygger på to hypoteser; den første at det kan etableres et samband mellom momentanflom og døgnmiddelflom slik at momentanflommen kan estimeres ved en form for skalering når døgnmiddelflommen er kjent. Den enkleste formen et slikt samband kan tenkes å ha er en skaleringsfaktor, for eksempel uttrykt ved forholdstallet mellom midlere momentanflom og døgnmiddelflom eller basert på forholdstallet ved et gitt gjentaksintervall. Flommer i Norge skyldes snøsmelting, høyintens nedbør eller kombinasjon av begge årsaker. Forholdstallet for snøsmelteflom og for regnflom vil trolig være forskjellige, og dette blir studert i den foreliggende undersøkelsen. En forutsetning for dette er at forholdstallet er uavhengig av gjentaksintervallet. I denne delen av undersøkelsen benyttes flomserier fra et utvalg av stasjoner hvor dataserier med momentan- og døgnmiddelflommer er tilgjengelig.

De fleste lengre flomseriene i Norge består helt eller delvis av døgnverdier. For å kunne anslå momentanflommene eller fordelingen av denne, er det nødvendig å finne forholdstallet for det aktuelle feltet og flomtypen. I mange undersøkelser er det antatt et samband mellom disse forholdstallene og felt-parametre som kan avledes fra topografiske kart. Dette er en vanlig antagelse i regionale studier, (NERC, 1975; Wingård et al., 1976; Tveito, 1992). I den foreliggende undersøkelsen blir også denne hypotesen undersøkt. For å verifisere de resulterende prediksjonslikningene blir de anvendt på et antall stasjoner som er holdt utenfor analysen.

Strnr.	Stasjon	N ( V / H )	Strnr.	Stasjon	N ( V / H )
491,12	Omnesfoss	19 / 19	1602,0	Harasjøen	17 /
586,0	Stordalsvatn	22 / 22	1603,0 *Å	Høydalsvatn	19 /
592,0	Hølen	26 / 26	1605,0 *Å	Tora	26 /
603,0	Kløvtveitvatn	21 / 22	1606,0 *Å	Skjøli	18 /
608,0	Lo bru	18 / 17	1613,12	Kilå bru	21 / 24
615,0	Viksvatn	23 / 24	1625,0	Nerdal	22 / 18
661,0	Haga bru	37 / 35	1663,0 *Å	Dombås	17 / 16
666,0	Høggås bru	26 / 25	1668,0	Krinsvatn	16 / 15
706,0	Storvatn	15 / 18	1687,0	Gryta	25 / 25
728,0	Sørfjordvatn	26 / 26	1727,0	Bjørnegårsvingen	18 / 20
730,0	Storvatn	30 / 30	1728,0	Tistel	18 / 19
867,12	Sjodalsvatn	45 / 40	1734,0	Myrkdalsvatn	20 / 21
887,0	Narsjø	20 / 17	1736,0	Hølervatn	21 / 18
931,0 *H	Hersvikvatn	/ 15	1750,0	Middal	18 / 17
1055,0	Eggafoss	47 / 45	1762,0	Skredalselv	17 / 16
1077,0	Landbru limn	47 / 45	1768,0	Tovsløyttjønn	22 / 19
1098,0	Jorbrufjell	16 / 16	1782,0	Kjemåvatn	20 / 23
1107,0	Fetvatn	16 / 15	1803,0	Sandvatn	20 / 20
1125,0	Bruøy	22 / 22	1812,0	Fura	20 / 21
1128,0	Grosettjern	29 / 30	1829,0	Gravå	20 / 22
1162,0	Sørra	29 / 30	1837,0	Bortne	16 / 16
1206,0	Bordalsvatn NDF	18 / 19	1852,0	Saglandsvatn	21 / 21
1281,0	Saksvatn	29 / 29	1861,0	Stuguflåten	18 / 18
1314,0 *Å	Nordmannset	26 /	1862,0	Storhølen	19 / 18
1315,0 *Å	Bergeby	20 /	1884,0 *Å	Manndalen bru	15 /
1316,0 *Å	Smalfjord	19 /	1892,0	Stigvassåi	20 / 19
1348,0	Lillefossen	16 / 15	1912,0	Morstøl bru	18 / 19
1358,0	Øvrefoss	19 / 16	1927,0	Tveitdalen	20 / 19
1379,0	Haldalsvatn	25 / 28	1932,0	Grovåi	20 / 19
1380,0	Buvatn	25 / 23	1943,0	Langedalen	17 / 18
1427,12	Djupevad	27 / 26	1944,0	Feigumfoss	20 / 21
1449,0	Fodnastøl	26 / 26	1945,0	Rauåna	20 / 20
1464,0	Gjengedalsvatn	23 / 23	1950,0	Jogla	18 / 20
1476,0	Liavatn	26 / 26	2009,0	Rysna	15 / 16
1499,0	Mannseter	21 / 20	2017,0	Langtjernbekk	16 / 18
1509,0	Gjevarvatn	18 / 18	2018,0	Skornetten	18 / 17
1555,0	Borgåi	25 / 26	2059,0 *V	Søya	15 /
1571,0	Skjåstad	25 / 26	2072,0	Storgama OVF	16 / 17
1572,0	Kråkfoss	20 / 17	2085,0	Tysvær	18 / 18
1573,0	Kringlerdal	23 / 23	2123,0	Elgtjern	16 / 16
1591,0	Rotua	24 / 24	2158,0 *H	Høgfoss	/ 16

**Tabell 3.1.** Oversikt over avløpsstasjoner som benyttes i analysen. N ( V / H ): serielengde vår / høst

\* V: Kun serier fra vårsesong, H: Kun serier fra høstsesong, Å: Høyeste årsverdi.

dataloggere avleses hvoretter data føres inn på en separat database (FINDA) for data med høy tidsoppløsning. Limnigrafdata kan tas ut som minuttverdier, selv om nøyaktigheten i kan være diskutabel. For loggerdata må de vurderes opp mot tidsintervallet (ofte satt til 1-1½ time) mellom hver registrering. Totalt foreligger data med høy tidsoppløsning for 1.7 mill. døgn på databasen.

Det er opprettet en separat database hvor momentanflommer og tilhørende døgnmiddel-flommer er registrert fra et betydelig utvalg stasjoner i uregulerte nedbørfelt. Disse observasjonene er tilrettelagt parvis som høyeste verdi innenfor hver sesong. Momentanverdiene er i hovedsak hentet fra FINDA mens døgnmidlene er hentet fra arkivet for kontrollerte og isreduerte data, F2. Momentanverdier er også in noen grad tatt ut direkte fra eldre limnigrammer.

Under arbeidet med å tilrettelegge data ble det funnet inkonsistens mellom døgnmidler på F2 og døgnmidler beregnet direkte fra FINDA. Dette opptrådte fortrinnsvis på døgn med stor variasjon i vannføring innen døgnet. Årsaken er at mange limnigrammer er tilbakedigitalisert uten at nye døgnmidler er beregnet. Den manuelle prosedyren for beregning av døgnmiddel inneholder flere muligheter for unøyaktigheter når vannstanden varierer mye. Det er ingen grunn til å anta at samme inkonsistens opptrer ellers i dataseriene. Middelveidier beregnet for lengre tidsrom enn døgn vil derfor i liten grad bli berørt av dette.

En svakhet i de manuelle dataseriene er også at observatøren i noen tilfeller har sørget for å avlese kulminasjonsvannstanden snarere enn vannstanden til et fast tidspunkt. Dette varierer trolig fra stasjon til stasjon, men innfører et usikkerhetsmoment til. En mangel i data fra FINDA er at de selvregistrerende instrumentene tidvis svikter, noe som desverre særlig kan inntreffe under ekstreme forhold. Dette har medført at den høyeste flomepisoden kan ha falt bort enkelte sesonger og år og at den nest høyeste flommen er benyttet i steden. Data på FINDA er heller ikke korrigeret for isoppstuvning, men dette forekommer sjelden eller aldri under årets kulminasjonsflom. Situasjoner hvor isoppstuvning kan forklare høye vannføringer er eliminert fra datamaterialet forut for analysen.

Som følge av de påviste svakhetene er tidsseriene som ble brukt i analysen i hovedsak tatt ut direkte fra FINDA både for momentanverdier og døgnverdier. Det foreligger betydelige datamengder på ennå ikke digitaliserte limnigrammer. Denne og liknende undersøkelser vil lettere kunne gjennomføres om hele det historiske materialet digitaliseres.

### 3.4 Felt-parametere

Felt-parametere benyttes som uavhengige variable i regresjonsanalysen. Kriterier for valg av parametere bygger hovedsakelig på tidligere undersøkelser (Wingård et al., 1978). Noen av variablene er dessuten transformert før de benyttes i undersøkelsen. Notasjoner for transformerte variable er  $\text{LOG}(f_i)$ : Logaritmen med grunntall 10 av variabelen,  $\text{KV}(f_i)$ : Kvadratet av variabelen og  $\text{R}(f_i)$ : Kvadratroten av variabelen. Det komplette parameterutvalget er presentert i tabell 3.2.

Det testes på tre avhengige variabler, forholdet midlere momentanflom / midlere døgnmiddelflom og det samme forholdet beregnet på basis av 10 og 20 års gjentakintervall.



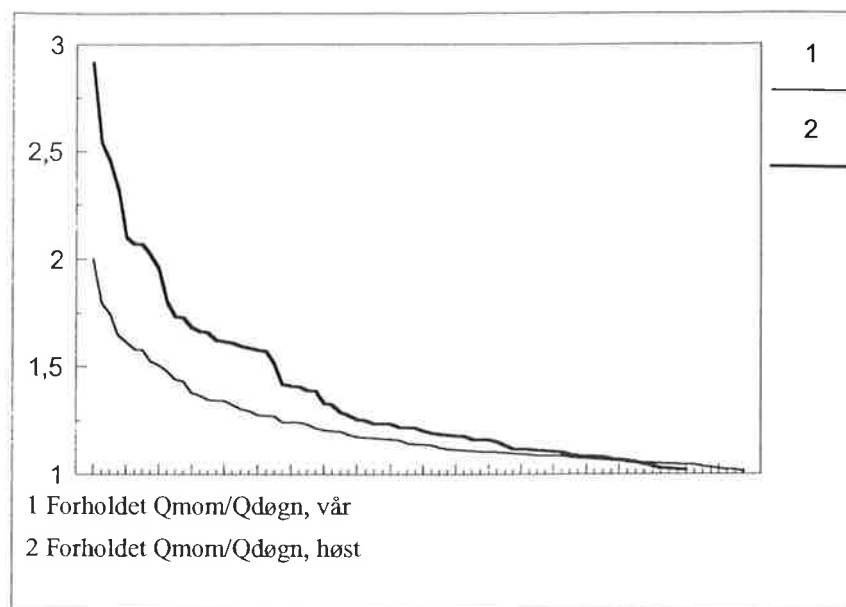
## 4. FORHOLDET MOMENTANFLOM DØGNMIDDELFLOM

### 4.1 Bestemmelse av forholdet midlere momentanflom og midlere døgnflom

Forholdstallet mellom momentan- og døgnmiddelflom danner grunnlag for anslag av momentanverdien når døgnmiddelverdien er en kjent størrelse. Forholdet bestemmes ved et utvalg av avløpsstasjoner hvor både momentan- og døgnmiddelverdi er kjente. Ved først å foreta en sesonginndeling beregnes seriens middelverdi av den høyeste registrerte momentan- og døgnmiddelverdi innenfor hver sesong. I de fleste tilfelle viser det seg at den høyeste momentan- og døgnmiddelverdien faktisk er å finne ved det samme flomtilfelle. Dette er ikke fastsatt som noe kriterium for bestemmelse av forholdstallet, derfor benyttes det også verdier hentet fra uavhengige episoder. Det er viktig å oppnå uavhengighet mellom verdier på tvers av sesongskillet. For å oppnå dette er flomforløpet analysert, slik at det med større sikkerhet kan avgjøres om verdiene er uavhengige. Forholdet midlere momentan- og døgnmiddelflom er utarbeidet fra stasjoner med serier på minimum 15 år. Det er ikke stilt krav om samme år eller serielengde.

Observasjonsseriene er underkastet en kvalitetsanalyse i form av spredningsplott. Ved plotting av sammenhørende data (parvis momentan/ døgnmiddel i hver sesong) er det mulig å vurdere de enkelte observasjoner noe nærmere. Ekstremverdier (outliers) ble på denne måten kontrollert for eventuelle feil og eventuell tilhørighet til andre populasjoner med annen fordeling. Plotting og analyse av korrelasjon og spredning er med på å danne et bilde av nøyaktigheten ved å benytte forholdstallet til å anslå momentanverdien. Lav korrelasjon og stor spredning fører til større usikkerhet. (Når det gjelder store flommer antas de å ha et annet samband enn mindre flommer. Det er vanskelig å bestemme knekkpunktet mellom store og mindre flommer fordi det ofte dreier seg om svært ekstreme situasjoner som sjelden inntreffer). Figur 4.1.1a gir et eksempel på et dempet samband hvor forholdet nærmer seg 1 og dessuten har en særdeles høy korrelasjon. Et noe annet bilde får man ved å vurdere situasjonen i figur 4.1.1b. Her er korrelasjonen noe lavere og med en større spredning. I figur 4.1.1c ser man et godt samband ved moderate flomstørrelser, men med en antydning til brudd ved mer ekstreme verdier. Den høyeste verdien er hentet fra en ekstrem situasjon i oktober 1987. Korrelasjonskoeffisientene mellom sammenhørende verdier av momentan- og døgnmiddelflommer har verdier mellom 0.85 og 0.99. I enkelte situasjoner vil årsaken til lave døgnmiddelverdier være at det ikke er det høyeste 24 timersmiddel som benyttes.

Smelteflommer har en relativt lang varighet og stort volum. Dette gir et mer dempet avløp og svært ofte et moderat avvik mellom momentan- og døgnmiddelflommen. Regnflommene er oftest kortvarige og er hovedsakelig forårsaket av nedbør med stor intensitet. Det antas derfor et større avvik mellom momentan- og døgnmiddelverdi i høstsituasjoner hvor det er regnflommer som dominerer. En samordning av forholdet i analys materialet i sortert orden bekrefter denne antagelsen (se figur 4.1.2). Det høyeste forholdstallet er på noe under 3 om høsten, mens maksimum ligger på 2 når det gjelder vårmaterialet. Det er kun ved noen få unntak at høstverdiene er lavere enn vårverdiene. En eventuell omforming av døgnmiddelverdi til høyeste 24 timers middel kan endre forholdstallet noe.



**Figur 4.1.2**

Framstilling av forholdet momentanflom / døgnmiddelflom. Sorterte verdier basert på grunnlag av 80 avløpstasjoner fra vårsesongen og 73 fra høstsesongen.

#### 4.2 Samband mellom forholdstallet og gjentakelsesintervallet

Vårflommene har gjerne en moderat økning med økende gjentakelsesintervall. Flommene har ofte stort volum og en relativt lang varighet, noe som ofte fører til et lite avvik mellom momentan- og døgnmiddelflomsverdier. Høstflommer øker normalt raskere med økende gjentakelsesintervall. Det kan ofte være stor forskjell mellom momentan- og døgnmiddelflomsverdier på regnflommer (figur 4.1.2). Bestemmelse av gjentakelsesintervall på momentanflommer og døgnmiddelflommer hver for seg, gjør det mulig å vurdere om forholdstallet endres med endring av gjentakelsesintervall.

Flomfrekvensfordelingen som benyttes er Gumbel (EV1) to-parameterfordeling. Det velges en to-parameterfordeling fordi tilpasning av en tredje parameter har en tendens til å bli usikker i tilknytning til korte måleserier.

#### Gumbel (EV1)

Sannsynlighetstettheten kan skrives på formen:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-(x-U)/\alpha} - e^{-(x-U)/\alpha}$$

General Extreme Value fordelingen (GEV)

General Extreme Value fordelingen ble lansert av Fisher -Tippet. Den omfatter tre fordelingsfunksjoner med ulike egenskaper avhengig av verdien på den tredje parameteren,  $k$ . Dersom  $k = 0$ , reduseres fordelingen til Fisher - Tippet type 1, som er identisk med Gumbels fordeling eller EV1. For å verifisere gyldigheten av å benytte Gumbel (EV1) fordelingen til eksperimentene, er også GEV tilpasset dataseriene med påfølgende beregning av forholdstallet ved ulike gjentakintervall.

Sannsynlighetstetthets-funksjonen til GEV kan skrives på formen:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{x-u}{\alpha}\right)^{1/k-1} e^{-(1-k(x-u)/\alpha)^{1/k}}$$

Kumulativ fordeling er:

$$F(x) = e^{-(1-k(x-u)/\alpha)^{1/k}}$$

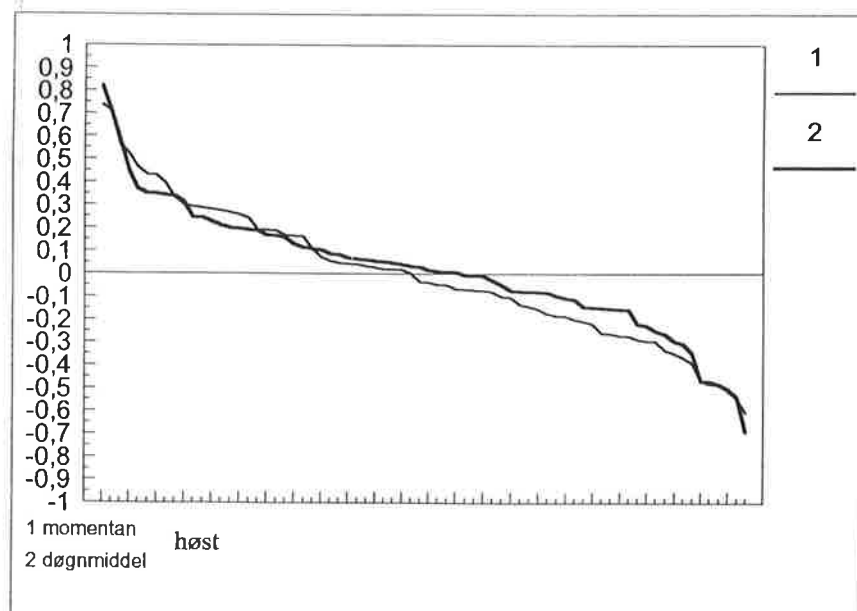
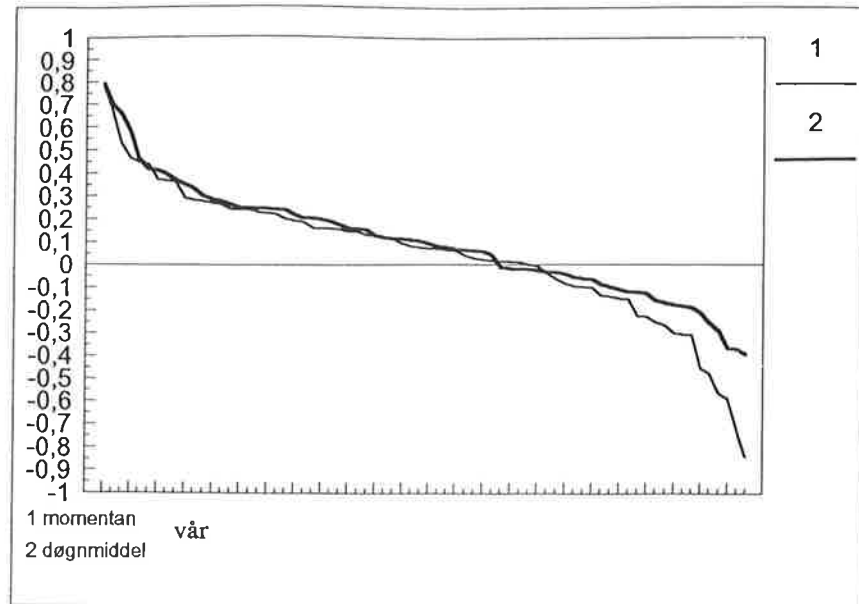
Fordelingen kan også skrives på invers form:

$$x = u + \alpha / k + \alpha \log F(x)$$

I figur 4.2.1 a-b vises fordelingen til parameteren  $k$ . Parameterens avvik fra 0 kan samtidig betraktes som et avvik fra Gumbel EV1 fordelingen. Det er foretatt en standardisering ved divisjon på middelflom for hver serie slik at verdiene kan sammenlignes.

k	Vår momentan	Vår døgnmiddel	Høst momentan	Høst døgnmiddel
Middel	0.047	0.101	-0.005	0.018
Std.avvik	0.294	0.242	0.296	0.273
Skjevhet	-0.539	0.411	0.291	0.115
Maksimum	0.782	0.793	0.740	0.821
Minimum	-0.840	-0.393	-0.605	-0.690

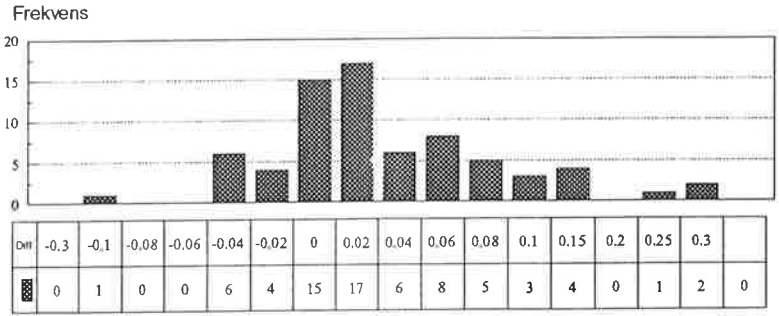
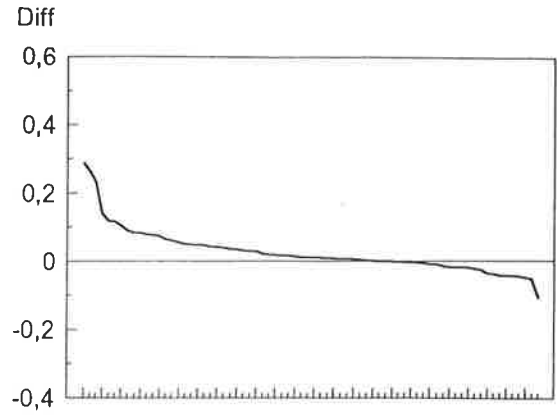
**Tabell 4.1** Statistikk for parameteren  $k$  for fire separate måleserier.



**Figur 4.2.1 a-b**

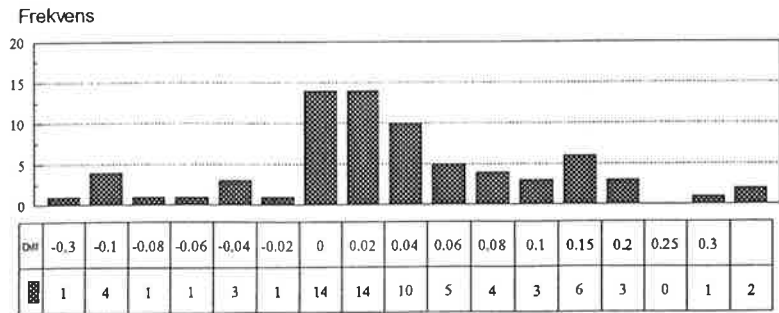
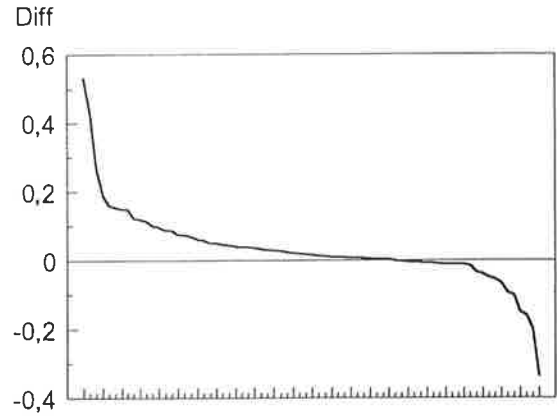
Fordelingen til parameteren  $k$ . Parameterens avvik fra 0 kan samtidig betraktes som et avvik fra Gumbel EV1 fordelingen. Det er foretatt en standardisering ved divisjon på middelflom for hver serie slik at verdiene kan sammenlignes.

**Figur 4.2.3 a**  
Differanse i forholdstall, vår 5 - 500 år gjentaksintervall

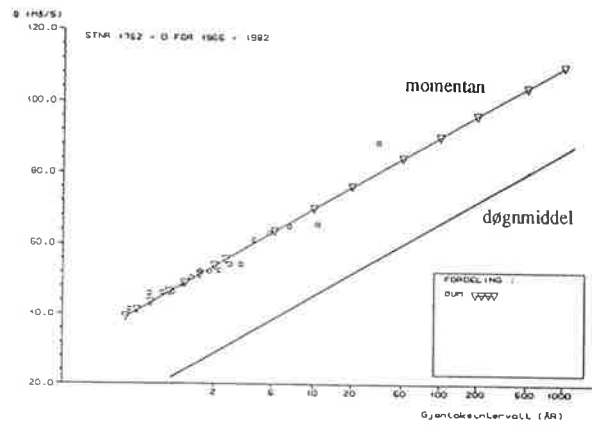
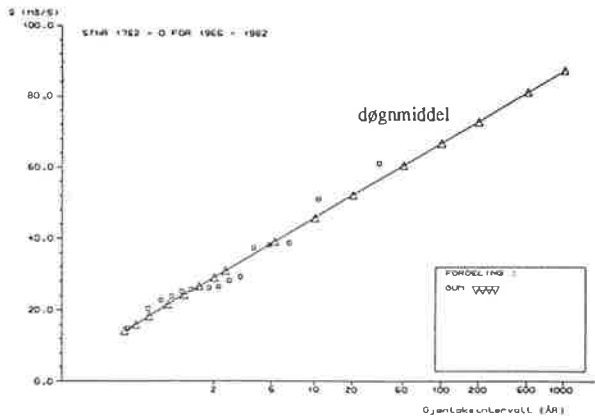


**Figur 4.2.3 b**  
Frekvensfordeling av differanse i forholdstall, vår 5 - 500 år gjentaksintervall

**Figur 4.2.3 c**  
Differanse i forholdstall, høst 5 - 500 år gjentaksintervall

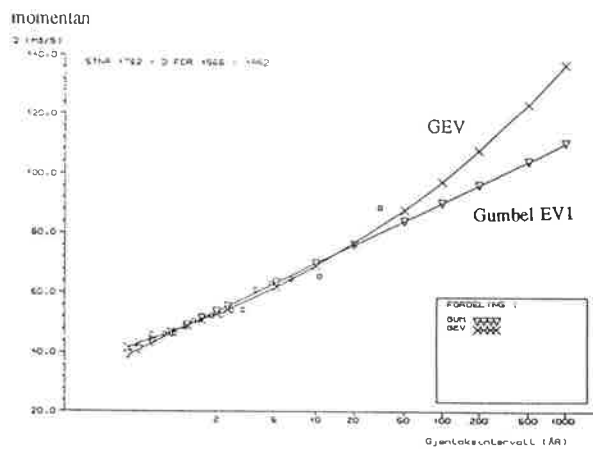
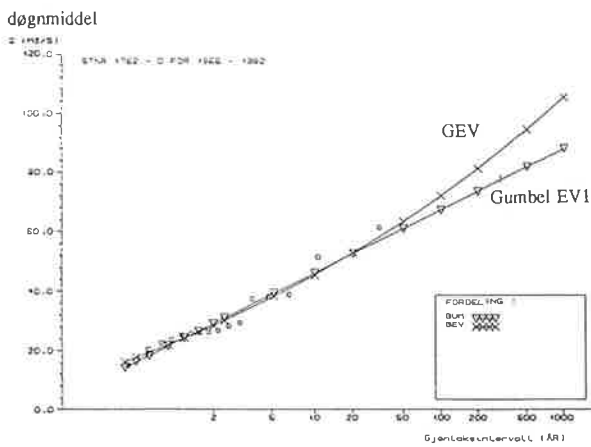


**Figur 4.2.3 d**  
Frekvensfordeling av differanse i forholdstall, høst 5 - 500 år gjentaksintervall



**Figur 4.2.5 a,b**

Tilpasning av fordelingsfunksjon på høstflommer for stasjon 1762. Forholdet mellom tilpasningene fører til reduksjon i forholdstall med økende gjentaksintervall.



**Figur 4.2.5 c,d**

Tilpasning av 3 parameter gamma og Gumbel EV1 på høstflommer for stasjon 1762. Gumbel EV1 gir en noe større reduksjon i forholdstall med økende gjentaksintervall enn GEV.

## 5. VERIFIKASJON

Observasjoner fra 24 uavhengige stasjoner benyttes til verifikasjon av regresjonsligningene. Stasjonsutvalget er presentert i tabell 5.1 samt på kart i figur 5.1.1. Observasjonsseriene er noe kortere i dette utvalget enn i analysegrunnlaget. Dette kan gi et noe mindre sikkert estimat av forholdstallet enn når det benyttes lengre serier. Forøvrig er seriene kontrollert etter samme metode som det øvrige analys materialet. Verifikasjonsresultatene er presentert på tabellform i tillegg A. Korrelasjonskoeffisienten basert på sammenhørende verdier er å finne i de samme tabellene. Denne gir en indikasjon på spredningen i materialet forholdstallet er beregnet fra. Sammenligningen mellom observert og simulert forholdstall er foretatt ved å bestemme prosent avvik fra observert verdi. Ligningene  $V_{\text{middel}}$  og  $H_{\text{middel}}$  er tilpasset på forholdstallet fra empiriske middelverdier, mens  $10V, H$  og  $20V, H$  er tilpasset henholdsvis på 10 og 20 års kvantilen. Det er kun ligning  $V_{\text{middel}}$  og  $H_{\text{middel}}$  som benyttes til verifikasjon.

Vmnr.	Stasjon	N ( V / H )	Vmnr.	Stasjon	N ( V / H )
658,0	Næverdalen	15 / 15	1796,0	Leirpoldvatn	9 / 8
685,0	Øyungen	15 / 16	1802,0	Årdal	9 / 11
925,0	Røykenes	12 / 13	1883,0	Eggedal	11 / 14
1150,0	Myglevann NDF	9 / 8	1910,0	Kvænangselv bru	14 / 11
1161,0	Jægervatn	10 / 8	2020,0	Åbogstjønn NDF	13 / 12
1211,0	Øksfjordvatn	12 / 13	2024,0	Søgne	15 / 16
1407,0	Kilen	12 / 11	2150,0	Sundbyfoss	10 / 12
1408,0	Nigardsjøen	8 / 8	2152,0	Fiskum	8 / 8
1529,0	Reinsnosvatn	6 / 6	2181,0	Sagstua	7 / 7
1538,0	Farstad	9 / 9	2205,0	Dyrdalsvatn	14 / 13
1596,0	Masi	8 / 8	2252,0	Kvalsund	11 / 12
1604,0	Brustuen	7 / 7	2254,0	Cærrogæsjojka	14 / 14

**Tabell 5.1** Oversikt over avløpsstasjoner som benyttes i verifikasjonen.  $N ( V / H )$ : Serielengde vår / høst.

Sammenligning av ligning ( $V_{\text{middel}}$ ) og ( $H_{\text{middel}}$ ): Resultatene beskriver en større usikkerhet når det gjelder høstflommer. En høyere standardfeil ved beregning av forholdstallet for høstflommer gir lavere presisjon på estimatene. Ved noen av stasjonene kan det påvises et relativt stort avvik mellom observert og simulert verdi i begge sesonger. Dette gjelder stasjonene 1408, 1796, 2152, 2181 og 2252. Avviket er større enn standardavviket i begge sesongene. Det er ingen spesielle forhold som kan påpekes når det gjelder disse stasjonene. Beliggenheten er også i vidt forskjellige deler av landet. Dette eliminerer muligheten for at det kan være noe regionalt mønster. Den faktiske årsaken til feilen er at de to dominerende faktorer, areal og effektiv sjøprosent, ikke beskriver forholdet momentan-

flom døgnmiddelflom godt nok. Tolkning av residualene tyder heller ikke på noen markerte trender som kan forklare feilestimeringene. De øvrige stasjoner hvor verdiene estimeres med relativt store feil, har mer moderate feil i den andre sesongen. Usikkerhet i prediksjonsligningen som fører til en tilfeldig fordeling av feilene på grunn av den uforklarte restvariasjonen, er sannsynligvis en del av årsaken til feilestimeringene.

Sammenligning av ligning (Vmiddel), (10V) og (20V): Den største forskjellen mellom ligning Vmiddel og de to øvrige, er den kraftige reduksjonen i partiell korrelasjon for RASE og en tilsvarende økning for LNAREAL. Utover dette er ligningene relativt like, både når det gjelder uavhengige variable og statistiske parametere. Den totale korrelasjonen avtar noe, mens feilen øker med økende gjentaksintervall.

Sammenligning av ligning (Hmiddel), (10H) og (20H): De dominerende variablene, RASE og LNAREAL er stabile, mens det er noen forskjeller for de øvrige variablene. Små endringer av statistiske parametere. Forholdstallet beregnet på observerte verdier gir i begge sesonger en bedre relasjon til felt-parametere enn forholdstallet beregnet på 10 og 20 års kvantilene. Det er også her en reduksjon i total korrelasjon og en økning i feilen med økende gjentaksintervall.

Forholdet momentanflom døgnmiddelflom endres noe avhengig av gjentaksintervallet (figur 4.2.1). Denne endringen kan ifølge disse resultatene sies å ha liten betydning på sambandet med felt-parametere når forholdstallet beregnes på basis av 10 og 20 års kvantilene.

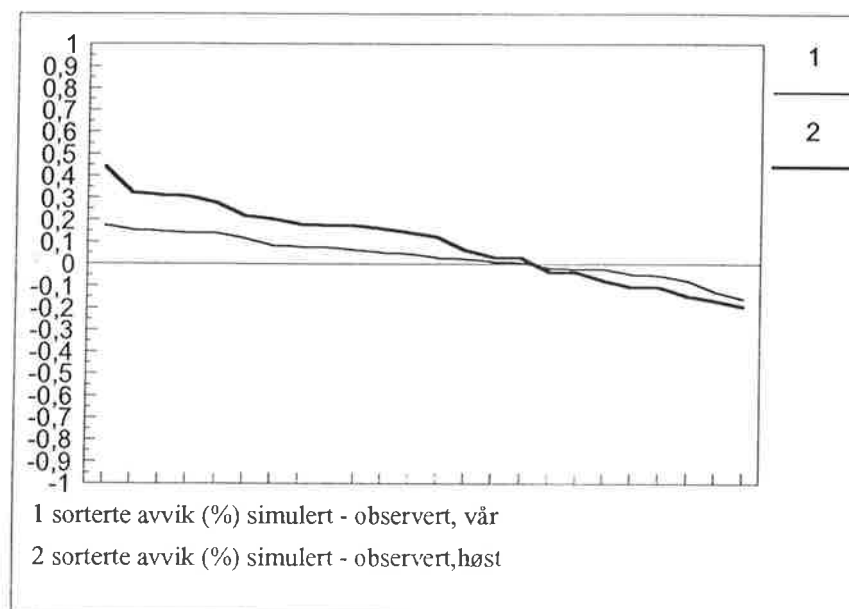
I figur 5.1.2a-c gjengis fordelingen av forholdstallet i verifikasjonsmaterialet. Kurvene er flattere enn i analysedataet og alle forholdstall er lavere enn faktor to. Andelen stasjoner hvor høstverdiene tangerer vårverdiene er tilnærmet den samme. Tilhørende simulerte verdier (basert på ligning (Vmiddel) og (Hmiddel)) viser at høstverdiene er betydelig dårligere estimert. Feilen i høstverdiene er spesielt markert i de situasjoner hvor forholdstallet overestimeres (Figur 5.1.3). Fordelingen omkring 0 den samme i begge sesonger. Feilen er her gitt som prosent avvik fra observert verdi.

I figur 5.1.4 - 5.1.6 presenteres momentanflom beregnet ved hjelp av observert og simulert forholdstall (OBS(Qmom/Qdøgn) og SIM(Qmom/Qdøgn)). Feilen mellom observert momentanflom og beregnet momentanflom fra OBS (Qmom/Qdøgn) forklares ved spredningen i relasjonen momentanflom døgnmiddelflom. Når momentanflom beregnes med SIM(Qmom/Qdøgn), kommer usikkerheten gjennom regresjonsberegningen i tillegg. Ved stasjon 1161 har forholdet momentanflom / døgnmiddelflom en  $r^2 = 0.998$  og en feil mellom observert og simulert forholdstall på 1.23%. Dette gir derfor et spesielt godt resultat. Ved de to andre stasjonene har den observerte relasjonen større spredning, men den største feilen forklares med avviket mellom observert og simulert forholdstall. Dette avviket er for stasjon 1407 på -12.53% og stasjon 2024 på 31.12%. Ved stasjon 1407 oppveies feilen fra beregningene med observert forholdstall i de fleste av verifikasjonsårene når simulert forholdstall benyttes. Dette betyr at beregnet momentanflom fra SIM(Qmom/Qdøgn) ofte gir bedre resultater enn beregnet momentanflom fra OBS (Qmom/Qdøgn) ved denne stasjonen. Ved den siste stasjonen forsterkes derimot feilen ytterligere i de fleste verifikasjonsårene ved bruk av SIM(Qmom/Qdøgn).

I figur 5.1.8 er observert momentanflom sammenlignet med beregnet momentanflom OBS(Qmom/Qdøgn) og



SIM(Qmom/Qdøgn) for stasjon 1407 tilpasset Gumbel EV1 fordelingen. Selv om presisjonen på beregnet momentanflom ikke er spesielt god i alle årene (figur 5.1.5), er tilpasningen til fordelingsfunksjonen relativt god ved disse tre forsøkene. Plottene avslører at seriene er forskjellige, men det introduseres ingen ekstremverdier i materialet med beregnede momentanverdier.

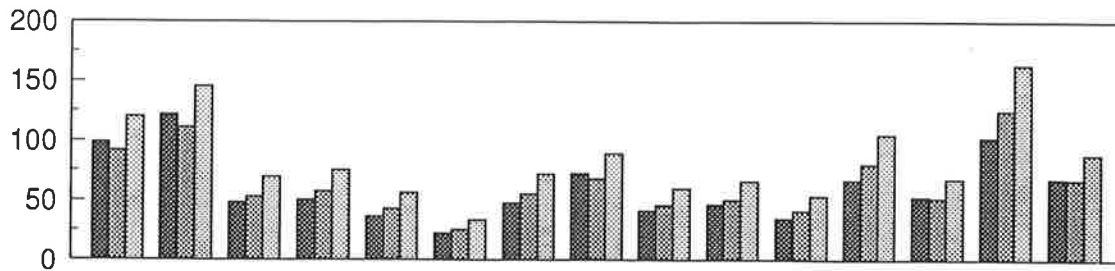


**Figur 5.1.3**

Fordelingen av feilen angitt som prosent avvik fra observert verdi. Simulerte verdier er beregnet gjennom ligning  $V_{\text{middel}}$  og  $H_{\text{middel}}$ .

## 2024,0 Søgne, høst

Momentan m<sup>3</sup>/s



	1974	1975	1976	1977	1980	1981	1982	1983	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Observert	98.1100	121.5700	47.7700	49.6800	35.8000	22.0100	47.3600	72.1400	40.5500	46.2700	34.0300	66.6200	52.4900	101.7600	67.7200
OBS(Qm/Qd)	91.4048	110.5920	52.8000	56.8320	42.4320	25.3312	54.6176	67.6224	45.4912	50.0480	40.5888	79.8976	51.4176	124.4288	67.2384
Avvik OBS(Qm/Qd)	(-0.0683)	(-0.0903)	0.1053	0.1440	-0.1853	-0.1509	-0.1532	(-0.0626)	0.1219	0.0817	0.1927	0.1993	(-0.0204)	0.2228	(-0.0071)
SIM(Qm/Qd)	119.8474	145.0051	69.2299	74.5165	55.6356	33.2136	71.6131	88.6646	59.6468	65.6215	53.2189	104.7595	67.4173	163.1475	88.1611
Avvik SIM(Qm/Qd)	0.2216	0.1928	0.4492	0.4999	0.5541	0.5090	0.5121	0.2291	0.4709	0.4182	0.5639	0.5725	0.2844	0.6033	0.3018

Observert momentanflom

Momentanflom beregnet ved OBS(Qm/Qd)

Momentanflom beregnet ved SIM(Qm/Qd)

**Figur 5.1.6**

## 6. KONKLUSJONER, ANBEFALINGER

En samordning av forholdet momentan- og døgnmiddelflommer i sortert orden viser at vårflommer har et mindre avvik mellom momentan- og døgnmiddelverdier enn høstflommer (se figur 4.1.2). Det høyeste forholdstallet dette materialet er på noe under tre om høsten, mens maksimum ligger på to når det gjelder vårmaterialet. Det er kun ved noen få unntak at høstverdiene er lavere enn vårverdiene. En eventuell omforming av døgnmiddelverdi til høyeste 24 timers middel kan endre forholdstallet noe. Ved anvendelse av predikerte forholdstall for felt hvor det ikke foreligger fin oppløsning vil det imidlertid være umulig å gjøre en tilsvarende omforming av døgnmiddelverdien.

Effektiv sjøprosent og areal viser seg å være de mest dominerende variabler i prediksjonsligningene. En høy partiell korrelasjon til effektiv sjøprosent bekrefter at forholdstallet har en høy samvariasjon til dempningen i avløpet. Jo mindre magasinet er jo større betydning får kulminasjons vannføringen for avløpsflommen. Ifølge tidligere undersøkelser er det en kombinasjon av volum og intensitet på en tilløpsflom som gir maksimal avløpsflom. Intense regnflommer med kort varighet dempes derfor kraftigere ved passering av et magasin enn mindre intense smelteflommer med større volum. Når prediksjonsligningene tildeler effektiv sjøprosent en høyere partiell korrelasjonskoeffisient på høstmaterialet, gjenspeiler dette nettopp denne effekten.

En høy partiell korrelasjon til arealet kan tyde på at dempningen knyttet til feltstørrelsen også er avgjørende. Små felt har ofte en kortere reaksjonstid, derfor vil kortvarige intense nedbørs situasjoner ofte gi toppflom og være langt mer kritiske enn for store felt. Dette fører til at forholdstallet mellom momentan- og døgnmiddelverdien ofte er høyere enn for store felt hvor nedbøren jevnes mer ut i tid og rom. Regnflommer er ofte vanskeligere å beskrive enn smelteflommer på grunn av varierende nedbørfordeling. Smelteflommer har i større grad tilsig fra hele feltarealet, avhengig av snø- og høydefordelingen i feltet. Sammensetningen av datamaterialet med forholdsvis små felt, fører muligens til at arealet kanskje ikke er en like fremtredende forklaringsvariabel som forventet. Det er grunn til å tro at en større andel av store felt i materialet vil forsterke arealets betydning.

Øvrige signifikante variabler bidrar med relativt lave andeler av den totale variasjonen. Hvorvidt disse er signifikante på grunn av data-sammensetningen eller om de har en faktisk betydning, er usikkert. Forholdstallet beregnet på 10 og 20 års kvantilene ga ingen markerte forandringer i prediksjonsligningene. De dominerende variablene er stabile med tilnærmet den samme betydning i alle tre ligningene innenfor hver sesong. Et markert unntak inntreffer imidlertid i vårsesongen. Her reduseres betydningen av effektiv sjøprosent, mens betydningen av arealet økes ved tilpasningen på kvantilbaserte forholdstall. Denne forandringen forsterker imidlertid antagelsen om at sjøenes effektive dempning ikke har den samme betydning for smelteflommer som for regnflommer. Stabiliteten i disse tilpasningene kan tyde på at forandringer i forholdstall som følge av høyere gjentaksintervall ikke har stor betydning for sambandet til felt-parameterene. Tolkning av residualene tyder heller ikke på noen markerte trender. På grunnlag av dette er det vanskelig å bedømme hvilke viktige faktorer i forholdet momentanflom døgnmiddelflom som ikke beskrives i ligningene.

Felt-parameterene er beregnet ved hjelp av subjektive metoder på grunnlag av forskjellige

## 7. LITTERATURLISTE

- Clark, W, A, V. & Hosking, P, L. (1986)  
*Statistical methods for geographers*, Wiley, New York.
- Holder, R. L. (1985)  
*Multiple regression i hydrology*, Institute of hydrology, Wallingford.
- Lundquist, D., Petterson, L. E., Skofteland, E. & Sælthun, N. R. (1986)  
*Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimalflom. Retningslinjer. V-  
Informasjon 1 (V-Publikasjon 1)*, NVE Oslo.
- NERC (1975)  
*Estimation of flood peaks from catchment characteristics*. Flood studies report.  
Vol I. , No27. 291-349
- NERC (1975)  
*Estimation of flood volumes over different durations*. Flood studies report.  
Vol I. , No27. 352-373
- Roald, L. (1992)  
*Flomfrekvensanalyse, systemdokumentasjon, Arbeidsnotat*, Hydrologisk avd,  
dataseksjonen, NVE, Oslo.
- Tveito, O. E. (1978)  
*A regional flood frequency analysis of norwegian catchments*,  
Rapport nr. 86, Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo.
- Vassdragsregulantenenes forening (1986)  
*Bekkeinntak på kraftverkstunneller*, Sluttrapport utgitt av "Bekkeinntakskomiteen"  
Asker, juni 1986
- Wingård, B., Hegge, K., Mohn, E., Nordseth, K. & Ruud, E. (1978)  
*Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag*, Rapport nr. 2, NVE, Oslo.

## **TILLEGG**

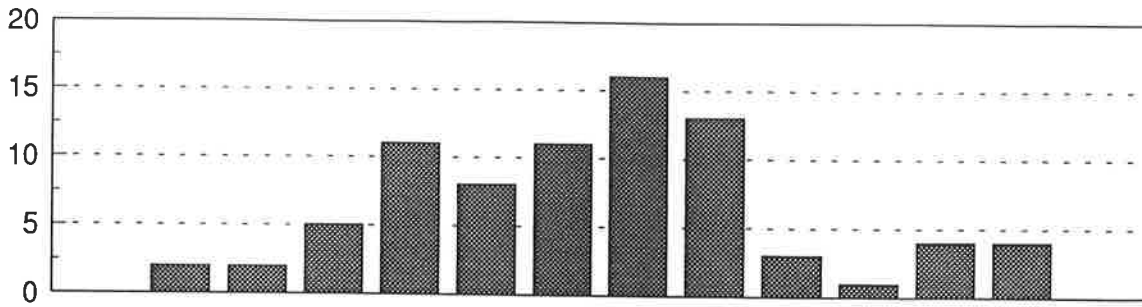
- **Regresjonsligninger for beregning av momentanflommer**
- **Verifikasjon av momentanflom-beregninger**

Vmnr.	Qmom/Qmid observert	Qmom/Qmid simulert	avvik (%)	r2 observert
658,0	1.1520	1.1257	-2.28	0.989
685,0	1.0970	1.1672	6.40	0.997
925,0	1.2330	1.1755	-4.67	0.980
1150,0	1.0460	1.1332	8.34	0.983
1161,0	1.0250	1.0376	1.23	0.998
1211,0	1.0700	1.1271	5.34	0.988
1407,0	1.4230	1.2447	-12.53	0.919
1408,0	1.1140	1.2708	14.07	0.988
1529,0	1.0610	1.0852	2.28	0.998
1538,0	1.2810	1.2894	0.65	0.972
1596,0	1.0080	0.9911	-1.68	1.000
1604,0	1.0990	1.1320	3.00	0.957
1796,0	1.4670	1.2373	-15.66	0.987
1802,0	1.2220	1.1954	-2.17	0.993
1883,0	1.1090	1.1625	4.82	0.996
1910,0	1.1620	1.0730	-7.66	0.968
2020,0	1.2350	1.3777	11.55	0.986
2024,0	1.2040	1.2977	7.78	0.957
2150,0	1.1470	1.3178	14.89	0.980
2152,0	1.1530	1.3540	17.43	0.968
2181,0	1.1290	1.2874	14.03	0.985
2205,0	1.3940	1.3231	-5.09	0.870
2252,0	1.0720	1.2383	15.52	0.976
2254,0	1.2480	1.3427	7.59	0.987
Middelfeil			3.47	
Standardavvik			8.91	

**Tabell A.1** Resultater basert på simulering ved hjelp av ligning (1V) vårflom. Ligningen er utarbeidet med forholdtall basert på observerte verdier. Korrelasjonskoeffisienten beskriver relasjonen mellom sammenhørende verdier av momentan- og døgnmiddelflom.

## Residualplott,vår

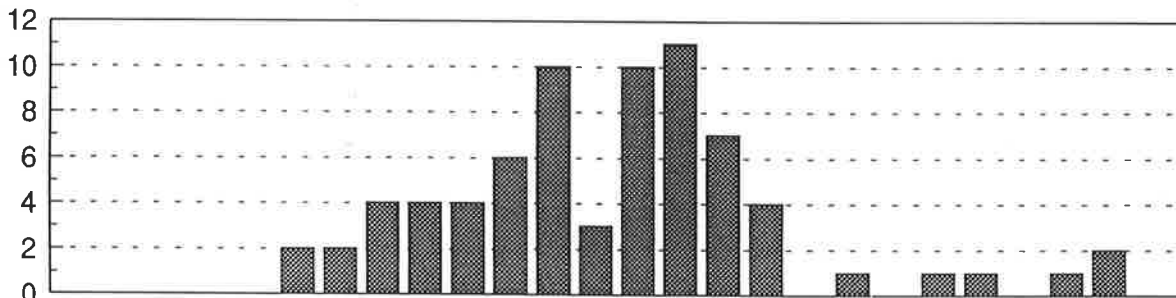
Frekvens



Residual	-0.45	-0.2	-0.16	-0.12	-0.08	-0.04	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2	0.45
Frekvens	0	2	2	5	11	8	11	16	13	3	1	4	4

## Residualplott,høst

Frekvens



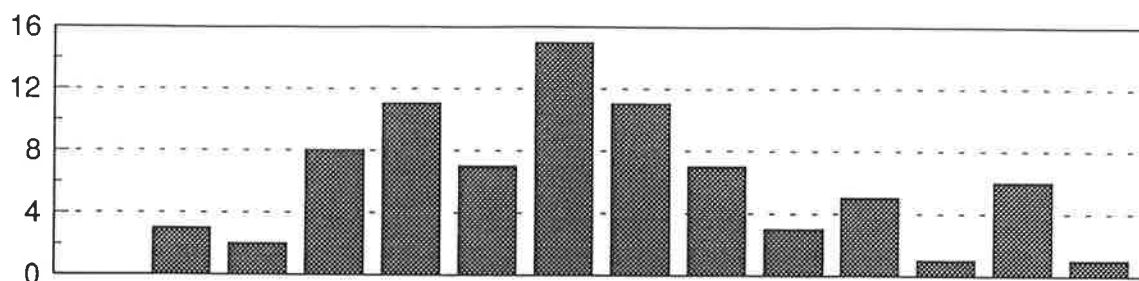
Residual	-0.75	-0.65	-0.5	-0.45	-0.4	-0.35	-0.3	-0.25	-0.2	-0.15	-0.1	-0.05	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.65	0.75
Frekvens	0	0	0	0	0	2	2	4	4	4	6	10	3	10	11	7	4	0	1	0	1	1	0	1	2

Figur A.1

Residualenes tilnærming til normalfordelingen  
fra ligning Vmiddel og Hmiddel.

## Residualplott, vår

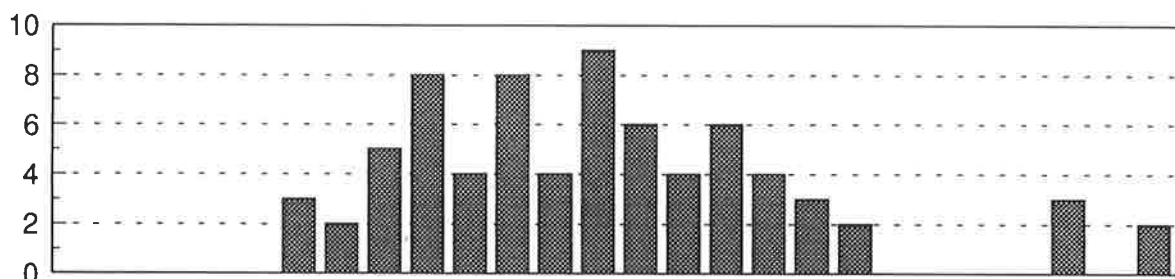
Frekvens



Residual	-0.45	-0.2	-0.16	-0.12	-0.08	-0.04	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2	0.45
Frekvens	0	3	2	8	11	7	15	11	7	3	5	1	6

## Residualplott, høst

Frekvens



Residual	-0.75	-0.65	-0.5	-0.45	-0.4	-0.35	-0.3	-0.25	-0.2	-0.15	-0.1	-0.05	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.65	0.75	
Frekvens	0	0	0	0	0	3	2	5	8	4	8	4	9	6	4	6	4	3	2	0	0	0	0	3	0	2

Figur A.3  
Residualenes tilnærming til normalfordelingen  
fra ligning 20V og 20H.



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

Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

**I 1994 ER FØLGENDE RAPPORTER UTGITT:**

Nr 1 Truls Erik Bønsnes og Lars Andreas Roald: Regional flomfrekvensanalyse. Sambandet mellom momentanflom og døgnmiddelflom. (45s.)