



DNMI

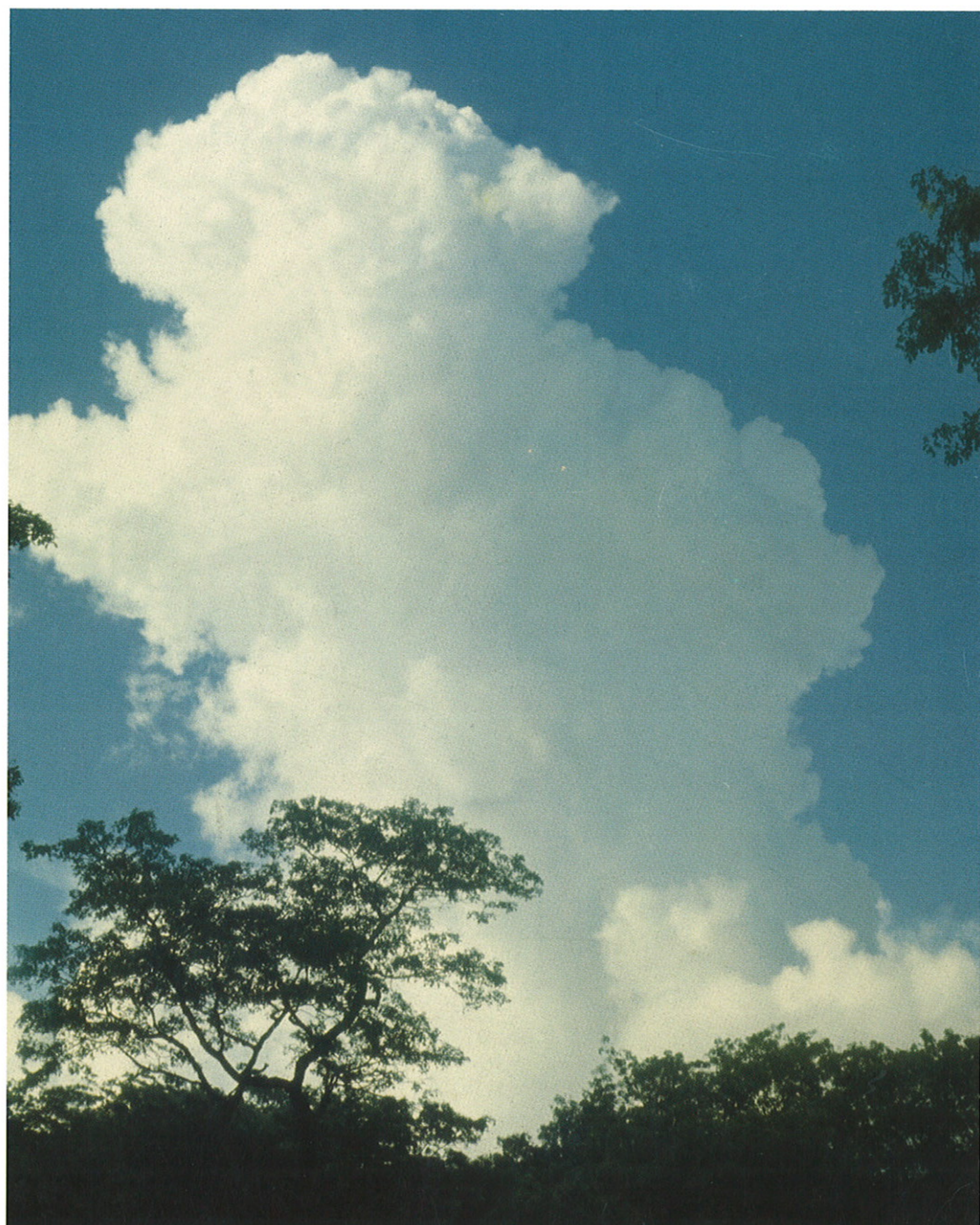
Det norske meteorologiske institutt

RAPPORT NR. 04/02

KLIMA

Analyse av sammenhengen
mellom sterk vind
og
flom

**Knut Harstveit
Lars Jenssen**



DNMI-RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3
TELEFON: 22 96 30 00

ISBN 0805-9918

RAPPORT NR.

04/02 KLIMA

DATO

21.03.02

TITTEL

Analyse av sammenhengen mellom sterk vind og flom

UTARBEIDET AV

Knut Harstveit (Meteorologisk Institutt)
Lars Jenssen (Statkraft Grøner)

OPPDRAGSGIVER

EBL kompetanse

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

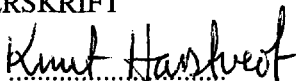
Vinddata fra 13 vindstasjoner på flyplasser eller flyplasslignende flater er sammenlignet med nærliggende vassføringsdata fra uregulerte nedslagsfelt. Det er beregnet 100 til 1000 – års flom for vassføringsfeltene og 2 til 100 års vind for vindstasjonene.

Det er en viss korrelasjon for felt i kystklime, for høstsesongen alene og vind i nedbørførende sektor ligger korrelasjonskoeffisienten der på cirka 0.5. Det er praktisk talt ingen korrelasjon for felt i innlandet.

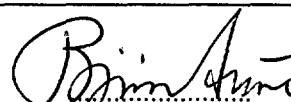
For kystfeltene er det funnet at ved vassføring over middelvassføringen er vassføringen proporsjonal med kvadratet av forventet vindhastighet. Spredningen er imidlertid stor, og sammenhengen kommer best fram ved å inndele materialet i intervaller med minst 30 datapunkter pr. intervall.

Ut fra dette er forventningsverdien og spredningen for 10 minutters middelvind ved flom på returtid T år angitt.

UNDERSKRIFT



Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER



Bjørn Aune
FAGSJEF

Sammendrag	3
1. Innledning	5
2. Datautvalg	5
3. Metodikk og resultater	6
3.1. Korrelasjonsanalyse.....	6
3.2. Frekvensanalyse av flom	9
3.3. Frekvensanalyse for vind.....	14
3.4. Fysiske betraktninger vedrørende sammenhengen mellom vind og flom ved vassføring over middelflommen.....	15
3.5. Valg av metode for vindbestemmelse ved ekstreme flommer.	19
3.6. Beregning av forventet vind og ulike konfidensnivåer ved ekstremflom	21
4. Konklusjon	25
5. Referanseliste	26
6. Symbolliste	26

Sammendrag

Vinddata fra 13 vindstasjoner på flyplasser eller flyplasslignende flater er sammenlignet med vassføringsdata fra nærliggende nedslagsfelt. Kravet har vært at feltene er uregulerte og middelstore eller små med forholdsvis lav demping. Det er tatt med noen felt i kystklima, innlandsklima samt høvfjellsfelt. Det er beregnet 1000 – års flom for feltene og 2 til 100 års vind for vindstasjonene.

Korrelasjonen mellom vind og flom er lav, for kystnære felt ligger korrelasjonskoeffisienten på cirka 0.2 (0.10 – 0.35). For mer innlandspregede felt er korrelasjonen bortimot fraværende. Dersom vi forsøker å rendyrke vær-situasjonene for de kystnære feltene, for eksempel ved kun å se på høstflommer og innskrenke oss til nedbørførende vindretninger, forbedres korrelasjonen, og korrelasjonskoeffisienten går opp i 0.5 (0.41 – 0.56). Dette illustrerer at det likevel finnes tydelige sammenhenger mellom vind og flom.

Korrelasjonen mellom vind og vassføring er størst for nedbørfelt med maritimt klima og helårsflommer. Vi benytter derfor data derfra. For felt i samme klimasone, men i høyereliggende nivåer og dertil store snømagasiner, har det vært nødvendig å kun benytte høstsesongen.

Vi har funnet at sammenhengen mellom relativ vindhastighet og relativ vassføring kan skrives som

$$\frac{U_{x_i}}{U_{xm}} = a \sqrt{\frac{Q_i}{Q_m}} + b$$

der i representerer et begrenset intervall for vassføring med tilhørende gjennomsnittsvind, U_{x_i} . Ligningen er tilpasset materialet for alle døgn med vassføring over 70 - persentilen, dvs. for de 30% av døgnene som har størst vassføring. Det er imidlertid stor spredning i vinddata innenfor små vassføringsintervall, og $i=30$ synes være en nedre grense for observasjonspunkter pr. intervall. Årsaken til at vassføringen følger vinden kvadrert antas ligge i at høy vassføring hovedsakelig skyldes nedbør som er utløst gjennom heving av luftmasser mot land. Nedbørutfellingen følger luftas innhold av kinetisk energi, dvs. vindhastigheten i 2. potens.

For de kystnære feltene ligger forventningsverdien av maksimal 10 minutters middelvind ved 100 – års flom i gjennomsnitt på 18.6 m/s. Ved 1000 – års flom er tilsvarende tall 20.8 m/s, det svarer til cirka 1 års returperiode for vindparameteren alene. Standardavviket, σ_{ux} på vindparameteren ligger i snitt på 4.1 m/s.

På grunn av den store variasjonen kan det være hensiktsmessig å ta høyde for større vindhastigheter enn forventningsverdien ved antagelse om hvilken vind som vil blåse ved 1000 års – flommen. Et estimat med 84% konfidensgrense er beregnet til vind med 5års returperiode og 95% konfidensgrense til 20 års returperiode. Konfidensgrensene er tatt som forventningsverdi med tillegg av $1\sigma_{ux}$ og $1.65\sigma_{ux}$ respektivt.

1. Innledning

Fribordet til en dam dimensjoneres for en 1000 – års flom pluss bølgeoppskylling. For en bestemt dam og en bestemt vindretning, vokser bølgene med vindhastigheten.

Bakgrunnen for denne rapporten er et ønske om å finne ut om det er noen sammenheng mellom sterk vind og store flommer i felt med lav reguleringsgrad. For felt med høy reguleringsgrad er vannstanden i liten grad knyttet til den aktuelle vær-situasjonen, men høy vannstand kan vare i lang tid og således kan alle vindregimer forekomme.

Ved litteraturgjennomgang har det ikke lyktes å finne noe stoff som tar for seg problemet om å se på sammenhengen mellom flom og vassføring. Ved DNMI ble det i 1993 gjort en liten undersøkelse om nedbør- og vindforhold ved høye vannstander i Aursundfeltet (1), et høyfjellsfelt i innlandet. Men dette feltet er regulert, og perioder med høy vannstand er mer et svar på langvarige nedbør og temperaturforhold kombinert med aktiv regulering enn på den aktuelle vær-situasjonen. Det ble ikke påvist noen særlig sammenheng mellom sterk nedbør og vind for en vær-stasjon i feltet, hvilket indikerer at det er lav korrelasjon mellom vind og vassføring i tilgrensende uregulerte vassdrag.

2. Datautvalg

DNMI sammen med Statkraft Grøner AS gikk sammen om å plukke ut minst 10 stasjoner med vassføringsdata og vinddata fra nærliggende vindstasjoner. Vi ble etter hver enige om i størst mulig grad å benytte vinddata fra flyplasser, fordelt over kyststasjoner, innlandstasjoner og fjellstasjoner i Sør- og Nord-Norge. Vi har en rekke stasjoner med vinddata elektronisk lagret fra før 1960 til år 2000 (pr.prosjektstart). Kravene til vassføringstasjonene var at de skulle være mest mulig uendret og uregulert gjennom måleperioden og ha middelstore felt uten for stor dempning og helst med tilsvarende datalengder som vindstasjonene.

Det ble vanskelig å oppfylle alle krav, men følgende stasjoner ble valgt:

Tabell 1

Oversikt over vindstasjoner og tilhørende vassføringstasjon, samt dataserier.

Vindstasjon	Dataserie	Vassføringstasjon	UTM -koordinat	Dataserie	Felleserie
Rygge	1957-2000	Høgfoss	32-604918-6602942	1976-2000	1976-2000
Rygge	1957-2000	Moss dam	32-594618-6590092	1966-2000	1976-2000
Gardermoen	1957-2000	Kråkfoss (Leira)	32-615543-6668092	1966-2000	1966-2000
Fokstua*	1968-2000	Dombås (Gjora)	32-505319-6883891	1968-2000	1968-2000
Sola	1957-2000	Hauge bru (Ulla)	32-354868-6579542	1906-1983	1957-1983
Flesland	1957-2000	Røykenes	32-302969-6684692	1934-2000	1957-2000
Ørland	1957-2000	Krinsvatn (Nordelva)	32-560719-7075791	1916-2000	1957-2000
Værnes	1957-2000	Høggås bru (Stjørdalselv)	32-617419-7042691	1912-2000	1957-2000
Bodø	1957-2000	Strandå	33-494632-7491547	1916-2000	1957-2000
Andøya	1958-2000	Åelv	33-532833-7659696	1978-1998	1978-1998
Bardufoss	1957-2000	Malangfoss (Målselv)	34-406745-7660052	1908-1999	1957-1999
Tromsø-Langnes	1964-2000	Jægervatn	34-455745-7736202	1956-1999	1965-1999
Banak	1966-2000	Lombola (Stabburselv)	35-415110-7783030	1961-2000	1966-2000
Kirkenes	1963-2000	Karpelv	36-398560-7730300	1928-1999	1963-1999

*Fokstua er ikke flyplass, men ligger på et område (Fokstumyrn) som ligner et flyplassområde. Øvrige vindstasjoner ligger på flyplasser.

Datautvalget fra vassdragstasjonene er gitt som middelvassføring pr. døgn. På vindstasjonene eksisterer det elektroniske data for 10 minutters middelvind, FF målt kl. 06, 12 og 18 GMT, på noen stasjoner også kl. 00 GMT. I tillegg er det observasjoner av maksimum 10 minutters middelvind siste 6 timer, FX (12 timer kl. 06 GMT når 00 GMT ikke utføres). Det finnes finere oppløsning, delvis på papir og delvis elektronisk, men arbeidet med å sette sammen slike serier blir svært tungt, og det er heller ikke ønskelig å tidfeste vindobservasjonene mer nøyaktig med tanke på den utjevne prosess som ligger i vassføringsdataene.

Av vinddataene over har vi da laget to døgnserier, det gjelder døgnmiddelvind, Um, som er midlet vind over de tre eller fire tidspunktene med data. Den andre serien gjelder døgnmaksimum av FX, Ux, som er valgt lik den høyeste av målingene kl. (00), 06, 12 og 18.

3. Metodikk og resultater

3.1. Korrelasjonsanalyse

Vi har kjørt en ordinær korrelasjonsanalyse mellom vassføring og døgnmidlet vind for fellesseriene gitt i tabell 1. Med korrelasjonsanalyse menes her å finne samvariasjonen mellom to variable. Denne blir målt i form av en korrelasjonskoeffisient, r . Dersom de to variablene varierer i takt, er korrelasjonskoeffisienten lik 1, dersom de ikke har sammenheng, er den 0. Metodikken påviser bare grad av sammenheng og sier intet om årsaksforhold eller hvorvidt den ene parameter avhenger av den andre. r^2 gir et mål på forklart varians i prosent, der variansen er kvadrert standardavvik. Det vil si, dersom $r=0.5$, er 25 % av variansen forklart gjennom felles forhold, mens 75% er knyttet til andre forhold.

I tillegg til alle data under ett, har vi foretatt inndelinger i høstflommer og vårflokker, samt innsnevret materialet til vindretningssektorer der vi får god korrelasjon. Resultatet er gitt i tabell 2. Alle delutvalg har et stort antall data, minimum 150 datapunkter, slik at det ikke er store usikkerheter knyttet til utvalget.

Tabell 2

Korrelasjonskoeffisient, r mellom døgnlig middelvind og døgnlig middelvassføring på en del vindstasjoner og nærliggende vassføringsstasjoner. r er gitt for alle data under ett, samt for utvalg basert på sesong og nedbørførende vindretningssektor, R -s. Stasjonene som er benyttet i videre analyser er gråskravert.

Stasjon		År	År	Høst	Høst	Vår	Vår	Utvalgskriterier		
Vind	Vassføring	Alle s	R-s	Alle s	R-s	Alle s	R-s	Høst	Vår	R-s [°]
Rygge	Høgfoss	0.15	0.18	0.13	0.23	0.08	0.14	juni-nov	april	170-220
Rygge	Moss dam	0.08	0.12	0.04	0.12	0.00	-0.04	juni-nov	april	170-220
Gardermoen	Kråkfoss	0.11	0.14	0.11	0.21	0.00	0.13	juli-okt	april-mai	130-190
Fokstua	Dombås	-0.05	-0.16	0.04	0.01	-0.01	0.04	aug-okt	mai-juni	150-190
Sola	Hauge bru	0.14	0.22	0.32	0.48	0.05	0.14	aug-nov	mai-juni	200-310
Flesland	Røykenes	0.35	0.50	0.38	0.51	0.26	0.41	juni-des	april-mai	200-310
Værnes	Høggås bru	0.10	0.15	0.27	0.46	0.08	0.06	juli-nov	mai-juni	260-290
Ørland	Krinsvatn	0.17	0.31	0.34	0.49	0.22	0.29	juli-okt	april-juni	230-310
Bodø	Strandå	0.19	0.43	0.33	0.56	0.20	0.36	juli-okt	april-juni	230-310
Andøya	Ælv	0.23	0.31	0.38	0.41	0.15	0.33	juli-okt	mai	210-310
Bardufoss	Malangsfoss	0.10	-0.02	0.14	0.17	0.01	-0.20	aug-sep	mai-juni	250-310
Tromsø-Langnes	Jægervatn	-0.13	-0.13	0.09	0.26	0.08	0.07	aug-sep	mai-juni	270-280
Banak	Lombola	-0.11	-0.07	0.03	0.12	-0.03	0.03	aug-sep	mai-juni	350-360
Alta	Lombola	-0.01	-0.10	0.05	0.13	0.00	0.00	aug-sep	mai-juni	310-330
Fruholmen	Lombola	-0.15	-0.17	0.05	0.13	-0.03	-0.12	aug-sep	mai-juni	260-280
Kirkenes	Karpelv	-0.01	-0.02	0.08	0.27	0.07	0.10	juli-sept	mai-juni	320-360

Tabellen viser at korrelasjonen mellom vind og vassføring gjennomgående er lav. For dataserien som helhet ligger den under 0.35 for alle stasjoner. Kystfeltene ved Flesland (Røykenes), Ørland (Krinsvatn), Bodø (Strandå) og Andøya (Åelv) har høyest korrelasjon (0.17 – 0.35), men innsnevrer vi materialet til høstsesongen, kommer fjellfeltene innenfor Sola (Ulla) og Værnes (feltet ved Høggås bru) også godt ut. Vi ser da at $r = 0.27 - 0.38$ for høstsesongen for disse 6 feltene. Alle disse stasjonene ligger eksponert til for vestlig vind og høy vassføring ved tilsvarende vind. For øvrige felt er $r < 0.15$, både for året som helhet og ved innsnevring til høstsesong. Ved Fokstua (Dombås), Tromsø-Langnes (Jægervatn), Kirkenes (Karpelv) og vindstasjonene mot Lombola er det tilløp til negativ korrelasjon, trolig pga. dominerende flomepisoder ved snøsmelting om sommeren. Lombola er et felt i Stabbursdalen med nærliggende vindstasjoner som ikke ligger helt fritt (Banak, Altat), mens den frittliggende fyrstasjonen Fruholmen ligger lenger unna. Bruk av alle tre vindstasjonene gir omtrent samme mangel på korrelasjon. Både Høggfoss (Rygge) og Karpelv (Kirkenes) viser kontinentale trekk, stasjonene ligger ikke utsatt for luft fra havet på samme måte som de kystnære feltene mellom Stavanger og Andøya.

Datautvalget er også innsnevret ved å betrakte den sektoren, definert ved vindretningen på vindstasjonen, som nedbøren mest hyppig kommer fra. Valget av denne sektoren er tatt ved å se på om det er en typisk sektor som gir bedre korrelasjon enn gjennomsnittet, samt gir størst vassføring i snitt. Det ligger ingen strenge kriterier til grunn, da denne framstillingen kun er gitt for å få et bilde av forholdene. Ved isolering av typisk nedbørførende sektor stiger korrelasjonen stort sett for felt med positiv korrelasjon.

Ved inndeling etter sesong stiger korrelasjonen for den tilnærmet smeltefrie sesongen, og særlig viss vi inndeler denne i nedbørførende vinder, men dette gjelder ikke for Fokstua (Dombås). Her korreleres da også mot vassføring fra et felt som ligger nær vannskillet, og deler av feltet reagerer nok forskjellig på forskjellige vindretninger. Vårflommene får gjennomgående lav korrelasjon med vinden, for flere stasjoner er det lavere korrelasjon om våren enn for året som helhet. Kyststasjonene fra Flesland til Andøya har dog omtrent uendret korrelasjon, og dette skyldes trolig at mange av vårflommene i disse vassdragene kommer ved en kombinasjon av regn og effektiv snøsmelting ved sterk vind og fuktig luft, slik det ble påvist for Dyrdalen i Røykenesfeltet (2).

Størst korrelasjon i tabellen oppnåes altså for Strandelv (Bodø), $r = 0.56$ for juli-oktober ved vind i sektor 230-310°. Dette betyr at 31% av variansen er forklart gjennom det felles værmønster som gir sterk vind og mye nedbør. Men bortsett fra kyststasjonene ved Flesland, Andøya, Bodø og Ørland, og Sola (høst) samt Værnes (høst) er korrelasjonskoeffisientene så lave at de forklarer mindre enn 10% av variansen, til dels nesten ingen ting for mange av stasjonene.

Dersom døgnlig maksimum 10 min middelvind brukes i stedet for døgnlig middelvind, blir korrelasjonene omtrent de samme, men gjennomgående litt lavere.

Figur 1 viser plott av døgnlig maksimum 10 min middelvind mot midlere vassføring for en av områdene med god korrelasjon (Ørland - Krinsvatn), og en med dårlig korrelasjon (Kirkenes - Karpelv).

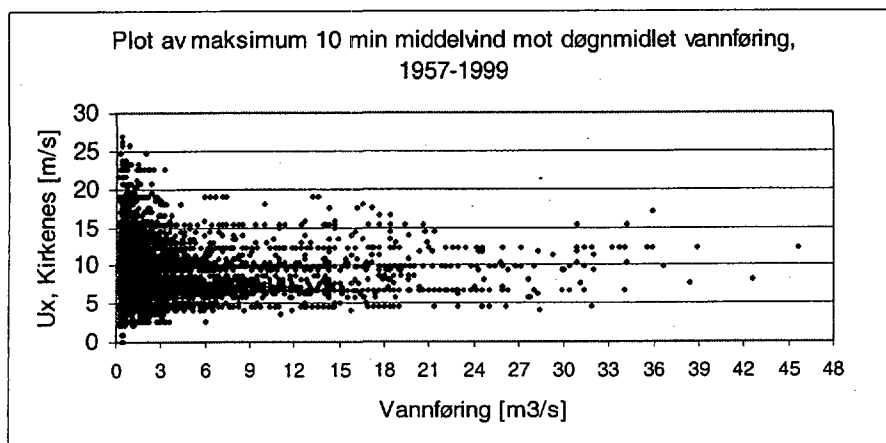
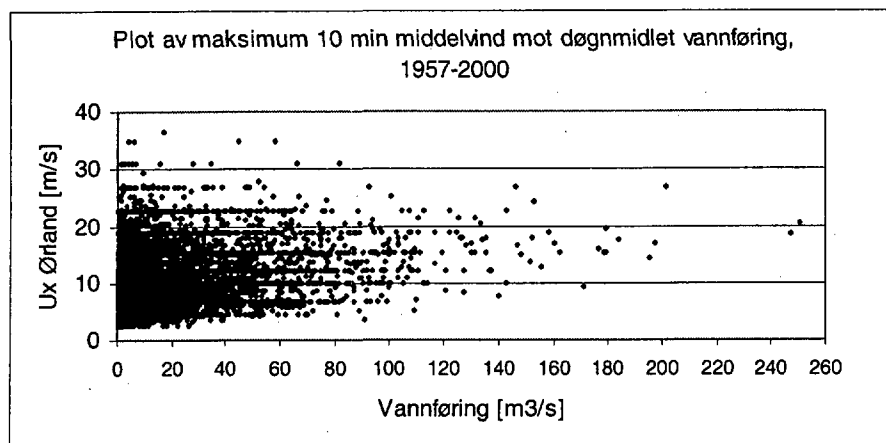
I tabell 3 er maksimal 10 minutters middelvind i hver av de 10 døgnene med størst vassføring satt opp for alle stasjonene. Det er også satt opp tilsvarende middelverdi for disse døgnene og tilsvarende middelverdi for alle døgn med vassføring over 99.75 persentilen. Med 99.75 persentilen menes de 0.25% av døgnene med størst vassføring, dvs. 1 av 400 eller ca. 1 pr. år. Middelverdi for alle observasjonene er også tatt med, samt et forholdstall mellom persentilmiddelet og totalmiddelet, $U_{x_{99.75}}/U_{xm}$.

Tabell 3 viser tydelig at de 6 stasjonene med best korrelasjon har sterkest vind ved høy vassføring, idet $U_{x_{99.75}}/U_{xm}$ ligger på 1.57 til 1.81, mens det på de øvrige stasjonene ligger på 0.9 til 1.36. For Høggås bru (vindstasjon Værnes) og Hauge bru (vindstasjon Sola) var det imidlertid nødvendig å skille ut høstflommene fordi en del vårflommer ligger i øvre del av flomspekteret og bidrar til redusert korrelasjon. Ved Rygge og Gardermoen blir det ikke tilsvarende forbedring av korrelasjonen ved å skille ut høstflommene (tabell 2), og disse tas ikke med i videre analyse.

Tabell 3

Målt verdi av maksimal 10 minutters middelvind [m/s] for de 10 høyeste vassføringsdøgn på nærliggende vassføringstasjon i måleperioden, rangert etter vassføringsverdi. Midlere maksimalvind for disse 10 episodene, $U_{x_{10H}}$, for 99.75 persentilen for vassføring, $U_{x_{99.75}}$ og for alle døgn som helhet, U_{xm} og forholdstallet mellom disse.

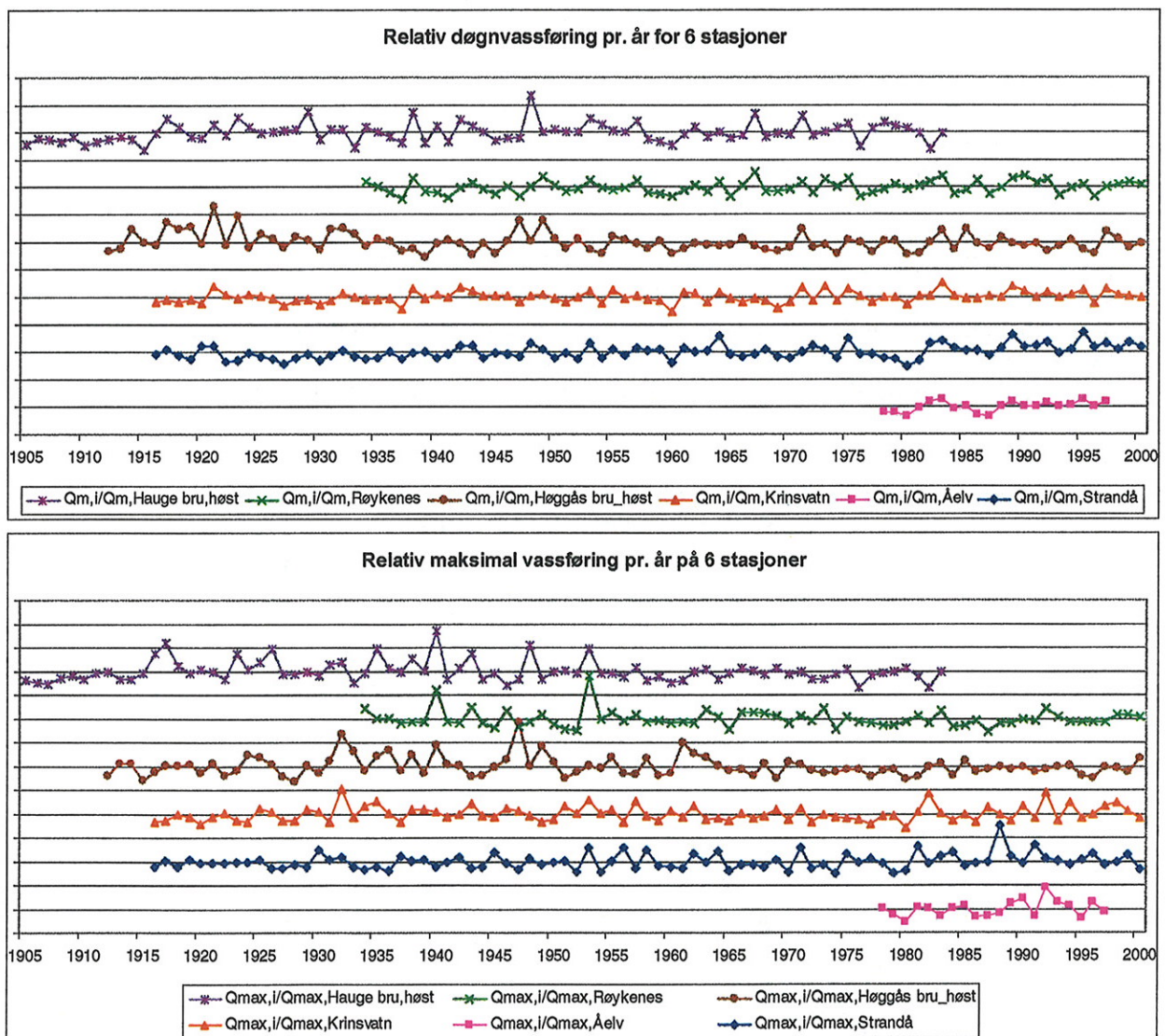
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$U_{x_{10H}}$	$U_{x_{99.75}}$	U_{xm}	$U_{x_{99.75}}/U_{xm}$
Sola	6.7	15.4	9.8	9.8	15.4	9.8	15.4	26.8	9.8	6.7	12.6	11.7	8.6	1.36
Rygge	16.5	10.8	13.9	7.7	4.1	7.7	15.4	4.6	8.7	8.2	9.8	8.7	6.5	1.34
Gardermoen	20.1	7.2	4.6	4.1	12.3	10.8	1.9	11.3	12.9	6.2	9.1	7.4	5.9	1.25
Fokstua	14.4	6.7	9.8	4.6	4.1	7.7	4.6	4.6	9.8	4.6	7.1	8.0	8.2	0.97
Værnes	12.3	7.7	9.3	12.3	9.8	9.8	9.8	6.7	4.6	9.8	8.4	9.3	8.2	1.14
Bardufoss	4.6	9.8	6.7	4.6	7.2	6.7	6.7	6.7	5.1	6.7	6.5	6.2	5.3	1.17
Tromsø_Langnes	6.2	12.3	6.2	5.1	9.8	12.3	5.7	9.8	6.2	9.8	8.3	8.9	8.2	1.08
Alta	7.2	5.1	6.2	9.3	6.7	7.2	6.7	4.6	8.7	15.4	7.7	7.7	8.6	0.90
Banak	9.3	6.2	7.7	10.8	4.6	9.3	6.7	4.6	18.0	6.7	8.4	8.4	9.1	0.93
Fruholmen	14.4	8.7	7.7	12.9	9.8	7.2	9.8	4.6	8.2	26.8	11.0	11.4	13.1	0.87
Kirkenes	12.3	8.2	12.3	7.7	9.8	17.0	12.3	12.3	15.4	10.3	11.8	10.5	9.2	1.14
Sola_høst	9.8	9.8	15.4	26.8	12.3	12.3	15.4	9.8	19.0	15.4	14.6	14.6	8.7	1.67
Flesland	9.3	9.8	8.7	9.8	7.7	15.4	12.3	19.0	9.8	9.8	11.2	11.3	7.1	1.59
Værnes_høst	12.3	12.3	6.7	16.5	22.6	11.3	15.4	11.3	12.3	12.3	13.3	12.3	7.7	1.60
Ørland	20.6	18.5	26.8	17.0	14.4	17.5	19.5	15.4	15.4	15.9	18.1	16.6	10.2	1.62
Bodø	15.9	17.0	22.6	15.4	19.0	19.0	15.4	10.8	19.0	15.4	17.0	17.0	10.2	1.66
Andøya	19.0	17.5	14.9	17.0	13.9	19.0	23.2	10.3	19.0	20.1	17.4	17.4	9.6	1.81

**Figur 1**

Døgnlig vassføring plottet mot maksimum 10 min middelvind for nærmeste flyplass for Krinsvatn (Ørland) og Karpelv (Kirkenes).

3.2. Frekvensanalyse av flom

Målet med denne rapporten er å finne ut hvor sterk vind en bør regne med ved 1000 års – flommen. Første oppgaven blir derfor å bestemme denne. Da vil vi først se på datagrunnlaget for de stasjonene som skal analyseres. Vi tar for oss de 6 stasjonene med tydelig korrelasjon mellom vind og flom, merket grått i Tabell 2, og som samtidig har størst vindverdi ved gjennomsnittlig 1 – års flom (tabell 3). Først inspiserer vi vassføringsseriene for disse 6 stasjonene for tydelige homogenitetsbrudd. Figur 2 viser serier av relative årsmaksima og relativ midlere vassføring for de 6 stasjonene. Med relative verdier mener vi årsverdien dividert på middel over hele årsrekken (middel eller maksimum). Bodøserien (Strandå) synes ha et brudd omkring 1981, da både middelvassføring og årsmaksima har større verdier etter 1981. Enten har stasjonen blitt flyttet til et sted der vassføringen er større, eller så kan det ha skjedd vassdragsoverføringer ovenfor målestedet. På dette grunnlaget tas data fra 1982 til 2000 ikke med i ekstremverdiregningen for Strandå. Vi ser at seriene fra Hauge bru og Høggås bru kan ha noe flomdemping i etterkrigstida, men det foreligger ikke opplysninger som tilsier dette. Variasjonene kan også bero på tilfeldigheter. En nøyere analyse anbefales kjørt, dette ligger utenfor rammene for dette prosjektet. Dersom årsaken skyldes homogenitetsbrudd blir det introdusert en feil i 1000 års – verdiene for disse stasjonene, men som angitt i kapittel 3.6 er ikke dette kritisk for sluttresultatet. Dette skyldes den store variasjonen i vindforekomster ved fast vannstand. Seriene fra Hauge bru og Høggås bru beholdes derfor i sin helhet.



Figur 2

Relative verdier av middelvassføring pr. år og maksimum døgnlige vassføring. Vertikal skala angir 2 enheter mellom hver strek, og seriene er parallellforskjøvet slik at de ligger langs enhetslinjen.

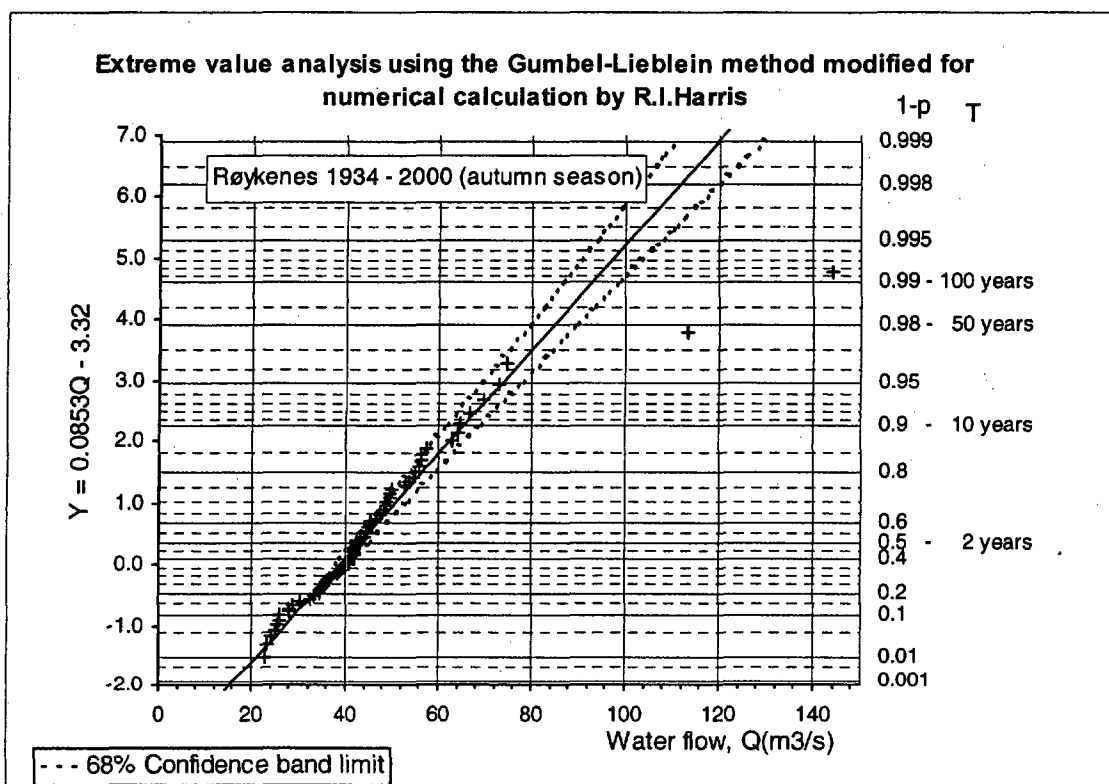
Frekvensanalysen kan utføres ved flere metoder, men siden det er vindvariasjonen som er kritisk, får ikke valg av metode avgjørende konsekvens for sluttresultatet. Vi velger derfor en anerkjent metode uten å ha påstått at dette er den beste.

Ved Gumbelanalyse (3) legges det til grunn at halen til fordelingen kan skrives som:

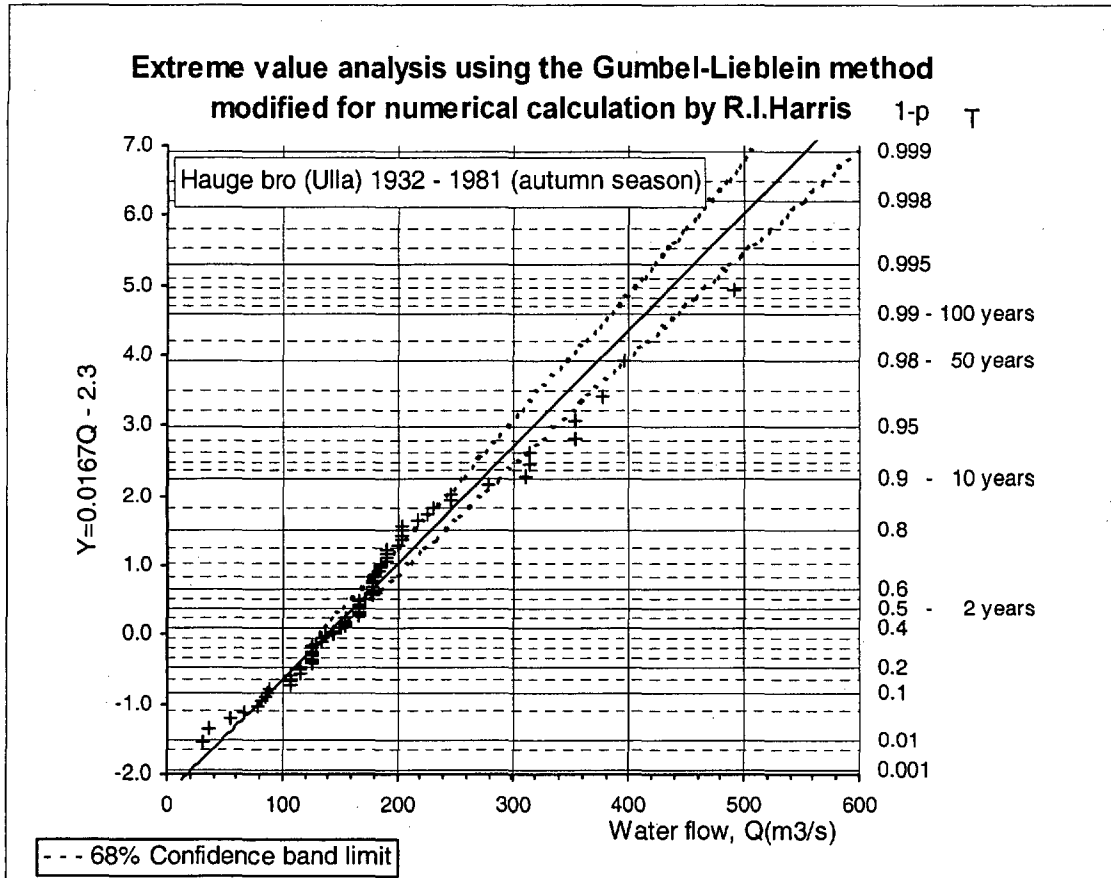
$$p(X > X_0) = 1 - p(X \leq X_0) = 1 - F(X) = 1 - e^{-e^{-\alpha(X-\beta)}} = 1 - e^{-e^{-y}} \quad \text{lign.1}$$

Her er P sannsynligheten for at en størrelse, X, i et enkelt år skal overstige en gitt verdi, X_0 . $F(X)$ er da frekvensfordelingen for ikke-overstigelse. Den har form av en dobbelt eksponensiell funksjon med to parametre, α og β som bestemmer fordelingen. Datamaterialet er en serie med årlige maksimalverdier og parameterne bestemmes ut fra tilpasning til den teoretiske fordelingen. Det er flere måter å gjøre dette på, bl.a. en grafisk metode, momentmetoden, minste kvadraters metode, sannsynlighetsmaksimeringsmetoden og Liebleins metode (4). Liebleins metode er av mange sett på som den beste, idet observasjonene vektet slik at kurven får størst vekt der den kan bestemmes best. "Outliere" blir da lavt vektet, og vil ikke i samme grad styre kurven som for eksempel ved momentmetoden, der standardavviket blir betydelig påvirket. Liebleins metode ble i mange år mindre brukt fordi den var tungvint. Harris (5) laget et dataprogram som Harstveit (ikke utgitt) har skrevet om til Visual Basic, slik at det kan kjøres for EXCEL. Samtidig ble også opptegning av konfidenskurvene automatisert. Dette er skrevet for vinddataserier, men med en enkel transformasjon kan de også brukes for vassføringsdata.

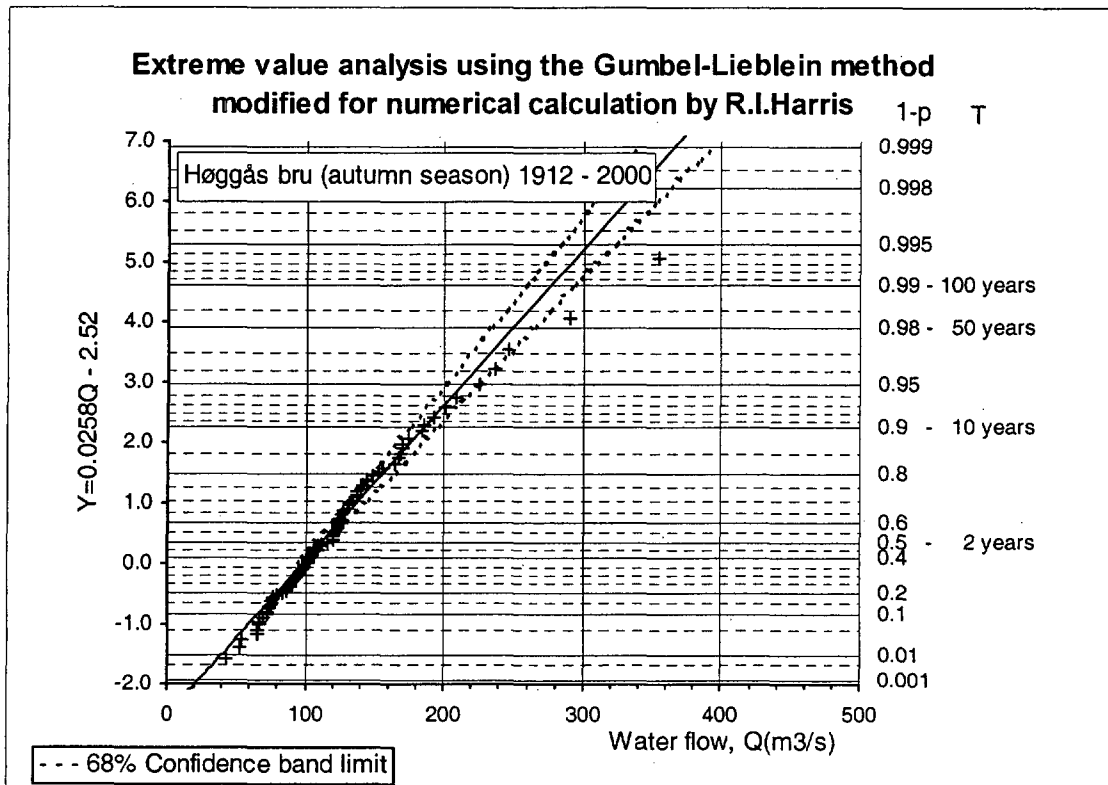
Figur 3 viser resultatene for vassføringsseriene for de 6 stasjonene, $X=Q$ i lign.1. Røykenes (Figur 3a) har et par tydelige "outliere", 2 ekstremverdier med over 500 års returperiode. Men som vi ser dras kurven ikke svært mye mot disse. Ekstremene sees tydelig i Figur 2 (1940 og 1953). Både Hauge bru og Høggås bru viser at Gumbeltilpasningen ikke er god, og dette indikerer igjen at det kan ligge homogenitetsbrudd i seriene, hvilket betyr større usikkerhet enn angitt i konfidensintervallene. Åelv ved Andøya har svært kort serie, hvilket gjør ekstremanalysen usikker, merk det store konfidensintervallet i Figur 3f.



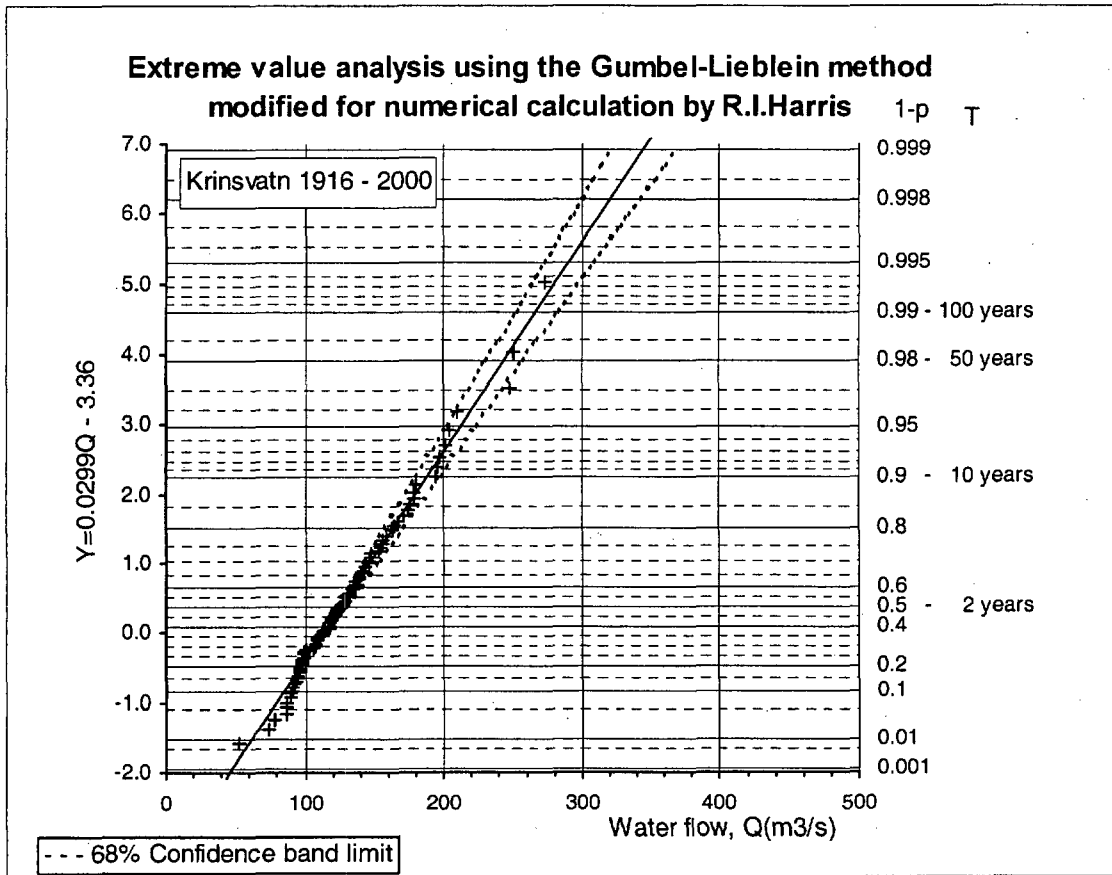
Figur 3a



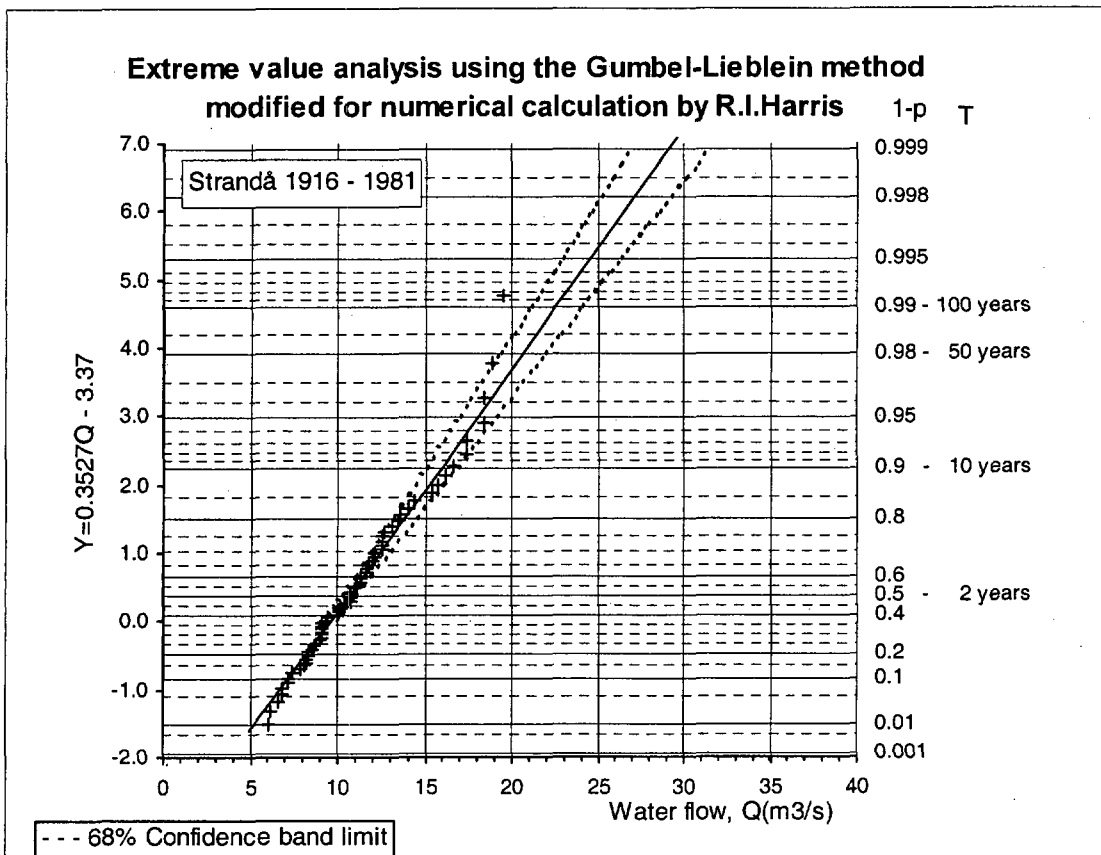
Figur 3b



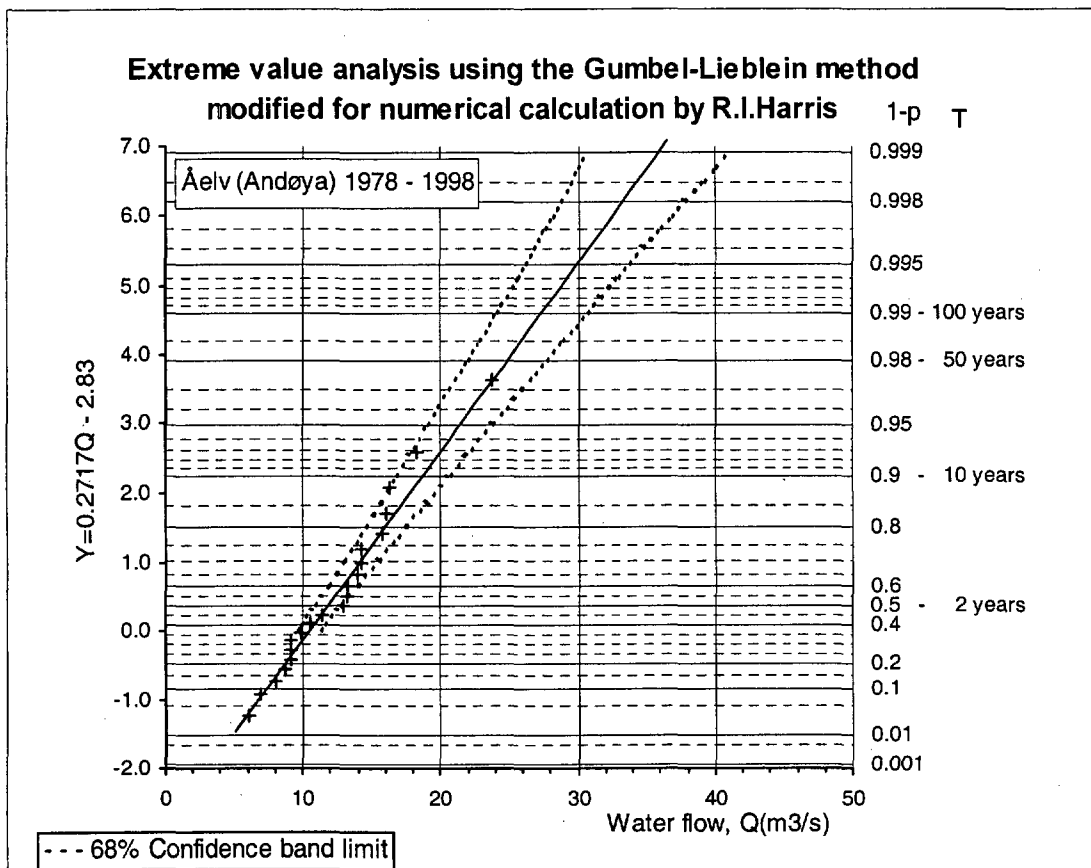
Figur 3c



Figur 3d



Figur 3e



Figur 3f

Figur 3

Gumbelberegninger av vassføringsreier. Horizontal akse er døgnlig vassføring ($m^3 s^{-1}$). Venstre vertikale akse er $Y = \alpha(Q - \beta)$ og på høyre akse er tilhørende sannsynligheter for ikke – overskridelse i et enkelt år angitt. Heltrukken linje er beste tilpasning av datapunktene, som er plottet inn med + tegn.

Tabell 4 viser en oversikt over Gumbelkjøringene og gir ekstremverdier for 2 til 1000 år.

Tabell 4

Beregnete ekstremverdier av døgnlig vassføring (m^3/s) med returperiode, T og sannsynlighet for årlig overskridelse, P.

	P	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
	T [År]	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
Hauge bru, høst	1905-81	159.8	227.7	272.8	315.9	329.6	371.8	413.7	455.4	510.5	552.1
Røykenes	1934-00	43.2	56.4	65.2	73.7	76.4	84.6	92.8	100.9	111.7	119.8
Høggås bru, høst	1912-00	112.1	156.0	185.2	213.1	221.9	249.2	276.3	303.3	338.9	365.8
Krinsvatn	1916-00	124.9	162.8	188.0	212.1	219.7	243.3	266.7	290.0	320.7	343.9
Strandå	1916-81	10.6	13.8	15.9	18.0	18.6	20.6	22.6	24.6	27.2	29.1
Åelv	1978-98	11.7	15.9	18.7	21.3	22.2	24.8	27.3	29.9	33.3	35.8

3.3. Frekvensanalyse for vind

Vi ønsker å finne ekstremverdifordelingen for vind, slik at vi kan knytte angitte verdier av sterk vind til returtider.

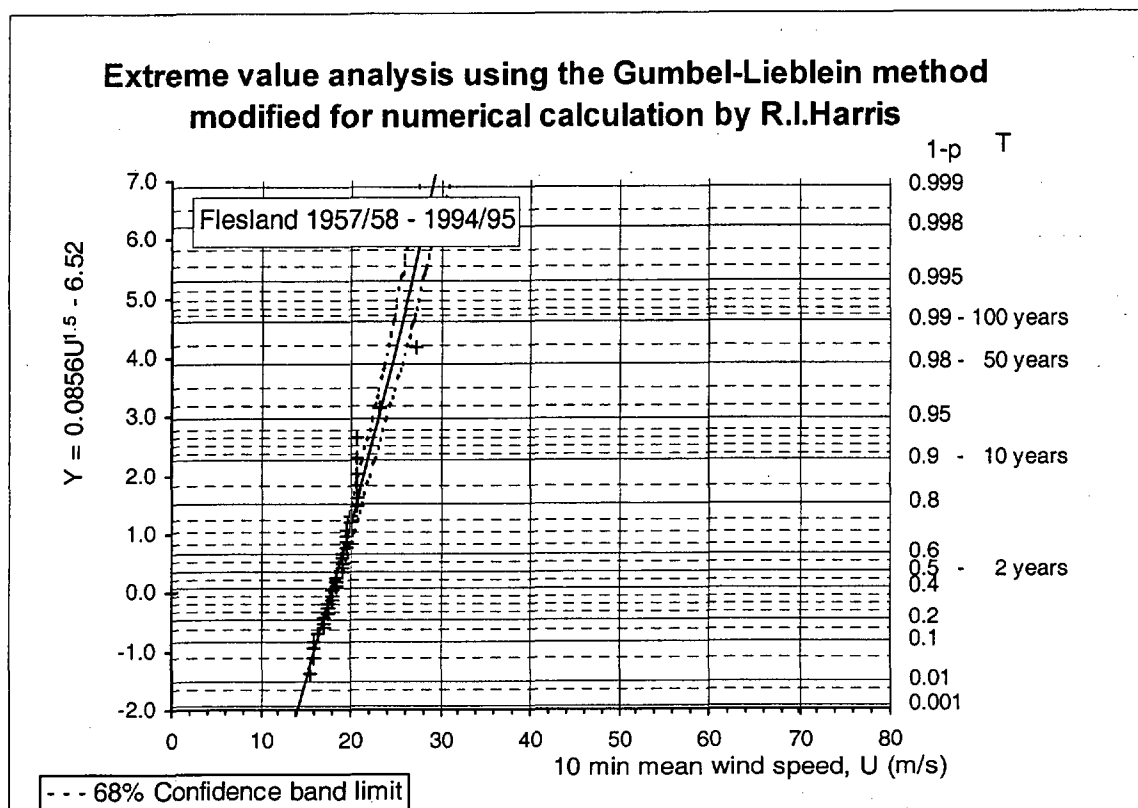
I forbindelse med arbeid med ny norsk vindstandard (6) eksisterer det beregninger av ekstremvind for vindstasjonene Sola, Flesland, Værnes, Ørland, Bodø og Andøya. Metodikken er som angitt under kap. 3.2. Analysen er kjørt med en transformert variabel av vindhastigheten, U , nemlig U^n som da erstatter Q i lign.1, derav krumme linjer. n er lik 2 for de fleste eksponerte stasjoner i Norge, men for Sola, Værnes og Flesland er den nær 1.5. Dette har med formparameteren i Weibul – fordelingen å gjøre. Aksene på figurene er gitt i forhold til u , derav er linjene krummet dersom $n \neq 1$. Flesland og Bodø er gitt som eksempler fra analysen, se Figur 4. Tabell 5 viser ekstremverdiene fra de 6 stasjonene med 2 til 100 års returperiode.

Tabell 5

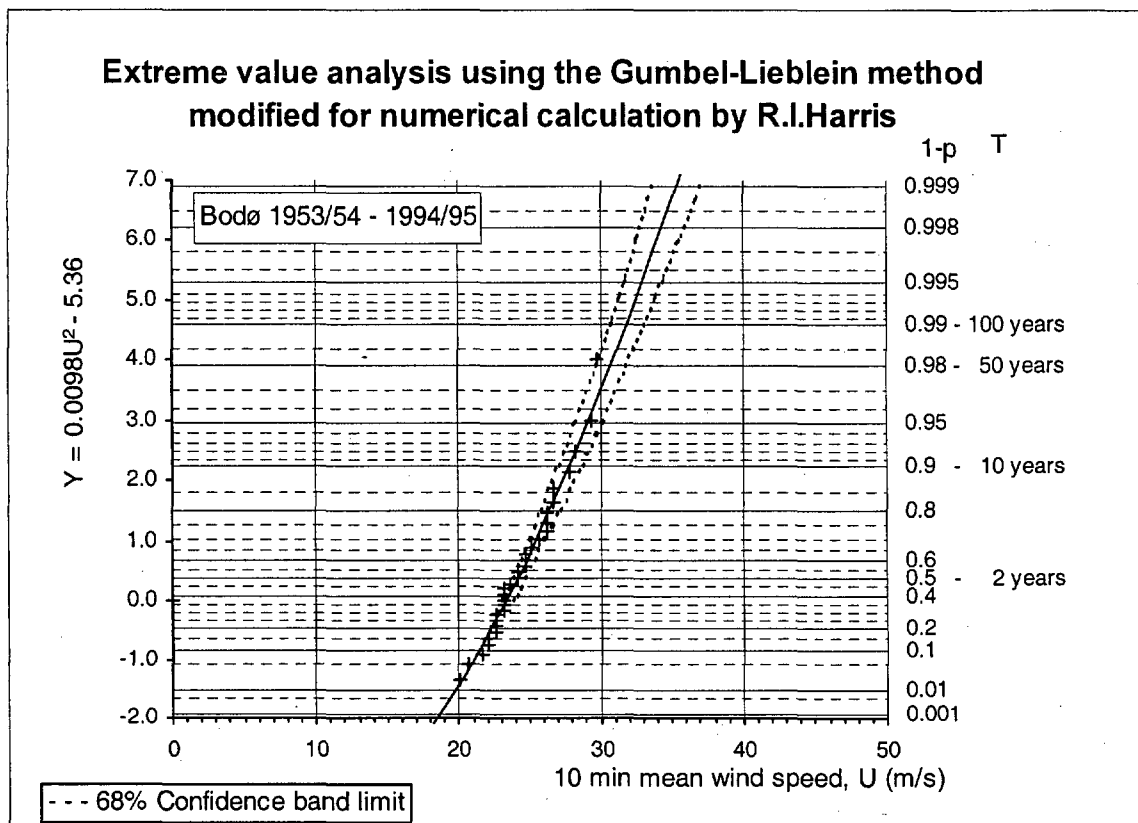
Resultater fra ekstremanalyse for 6 vindstasjoner. Beregnet ekstremverdier av 10 minutters middelvind [m/s] med returperioder på 2 til 100 år er gitt.

	Datarekke	2 år	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år
Sola	1958/59 – 94/95	21.1	23.4	24.8	26.2	27.9	29.1
Flesland	1957/58 – 94/95	18.6	20.6	21.9	23.1	24.6	25.6
Værnes	1965/66 – 94/95	22.1	24.1	25.4	26.6	28.1	29.2
Ørland	1957/58 – 94/95	26.1	28.7	30.4	31.9	33.8	35.1
Bodø	1958/59 – 94/95	24.1	26.4	27.8	29.1	30.7	31.8
Andøya	1962/63 – 94/95	25.0	27.8	29.5	31.1	33.0	34.4

Tabellen viser at Ørland og Andøya er mest vindutsatt, mens vinden på Flesland er mest bremset av nærliggende landskap.



Figur 4a



Figur 4b

Figur 4

Eksempel på Gumbelberegninger av vindserier. Aksefordelingen er ellers som for Figur 3.

3.4. Fysiske betraktninger vedrørende sammenhengen mellom vind og flom ved vassføring over middelflommen.

Vi skal her gjøre noen betraktninger over sammenhengen mellom vind og flom. Ut fra dette perspektivet kan vi så se på sammenhengen ved bruk av dataseriene og komme fram til relasjoner mellom vindhastighet og vassføring når vassføringen er stor.

Vassføringen, Q i et felt uten snømagasin og med liten dempning vil ved mye nedbør pr. døgn, RR være tilnærmet proporsjonal med nedbørmengden. Med noe dempning/snømagasin vil ligningen

$$Q = a'''RR + b''' + e'' \tag{linn.2}$$

kunne skrives, der e'' er restvariasjonen som ikke er knyttet til RR, mens a''' og b''' er konstanter.

Utfelling av nedbør langs kysten og noe innefor er hovedsakelig knyttet til heving av fuktig luft. Dette krever energi, selv om behovet reduseres gjennom frigjøring av kondensasjonsvarme. Ved samme type luftmasse, vil ventelig utfellingen øke med den kinetiske energien i luftmassen, dvs. med 2. potens av vindhastigheten, U_x. Generelt bør vi da kunne skrive:

$$RR = a''U_x^2 + b'' + e' \tag{linn.3}$$

Ligningen

$$U_x^2 = a'Q + b' + e \tag{linn.4}$$

kan da beskrive vindhastighetens samvariasjon med vassføringen. Som vindparameter er døgnmaksimum av 10 min. middelvind, U_x , benyttet, og som vassføringsparameter, døgnet midlet vassføring, Q . Restleddet e representerer både usikkerheter og andre årsaker som kommer inn ved enkeltobservasjoner, og er slik at middelveiden, $e_m=0$. Dersom vi har et stort antall tilfelle for hver vassføringsverdi, vil restleddet forsvinne.

$$\hat{U}_x = \sqrt{a'Q + b'} \quad \text{lign.5}$$

Lign. 5 gir således et estimat for U_x , \hat{U}_x , gitt optimal bestemmelse av a' , b' . Lign.5 omformes lett til den dimensjonsløse ligningen

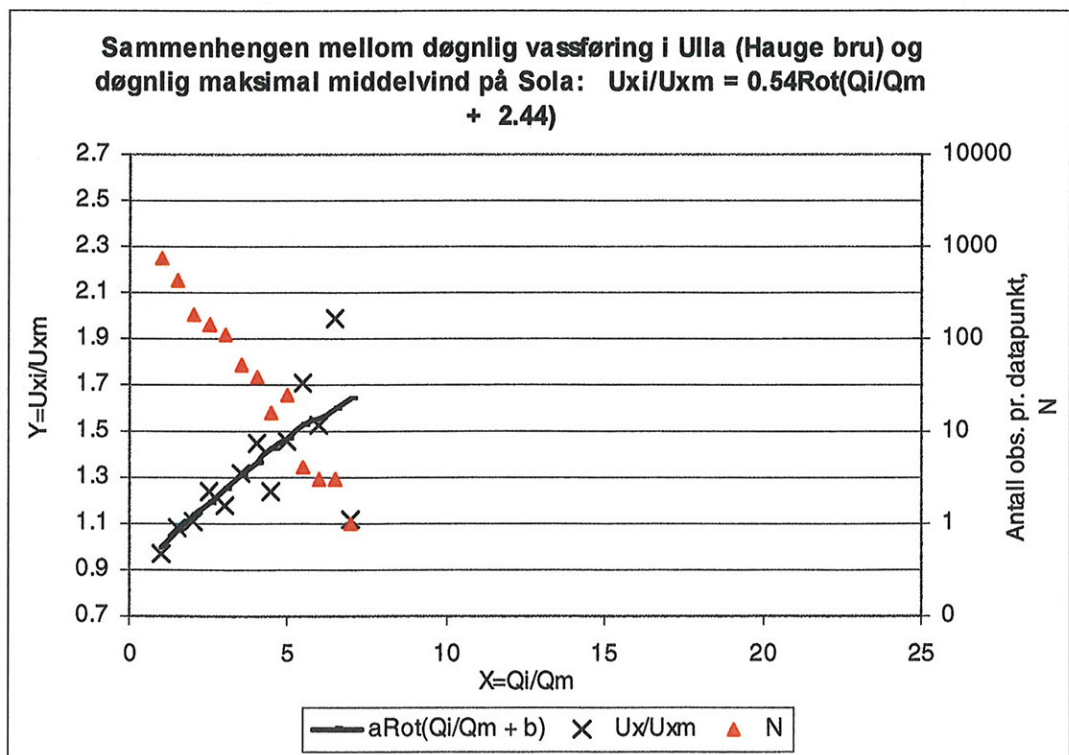
$$\hat{U}_{xr} = \frac{\hat{U}_x}{U_{xm}} = \frac{\sqrt{a'Q_m}}{U_{xm}} \sqrt{\frac{Q}{Q_m} + \frac{b'}{a'Q_m}} = a\sqrt{Qr + b} \quad \text{lign.6}$$

der Q_m og U_{xm} er middelveiene av vassføring og døgnetlig maksimalvind. Konstantene a og b er stasjonsavhengige og bestemmes fra dataene ved minste kvadraters analyse. Men døgnet med lav vassføring har liten interesse. For de analyserte vassdragene svarer $Qr=1$ til 66.8% fraktilen. For å redusere støyen har vi derfor valgt å benytte 70% fraktilen som grense for analyser, dvs. vi benytter de 30 % av døgnet med størst vassføring, hvilket tilsvarer de døgnet der vassføringen er over middelveiden for året.

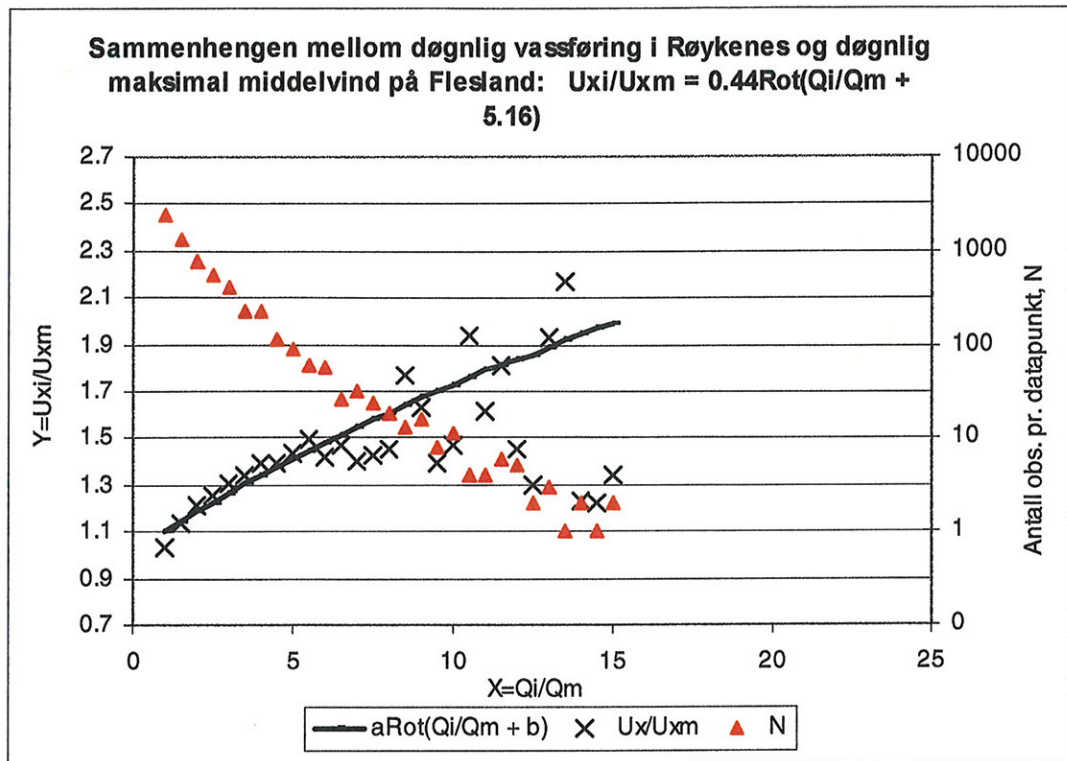
For illustrasjon er det nå hensiktsmessig å inndele materialet i intervaller, og lign.7 får god gyldighet når antall observasjoner pr. intervall, i , er stort nok.

$$U_{xr_i} \approx \hat{U}_{xr_i} = a\sqrt{Qr_i + b} \quad \text{lign.7}$$

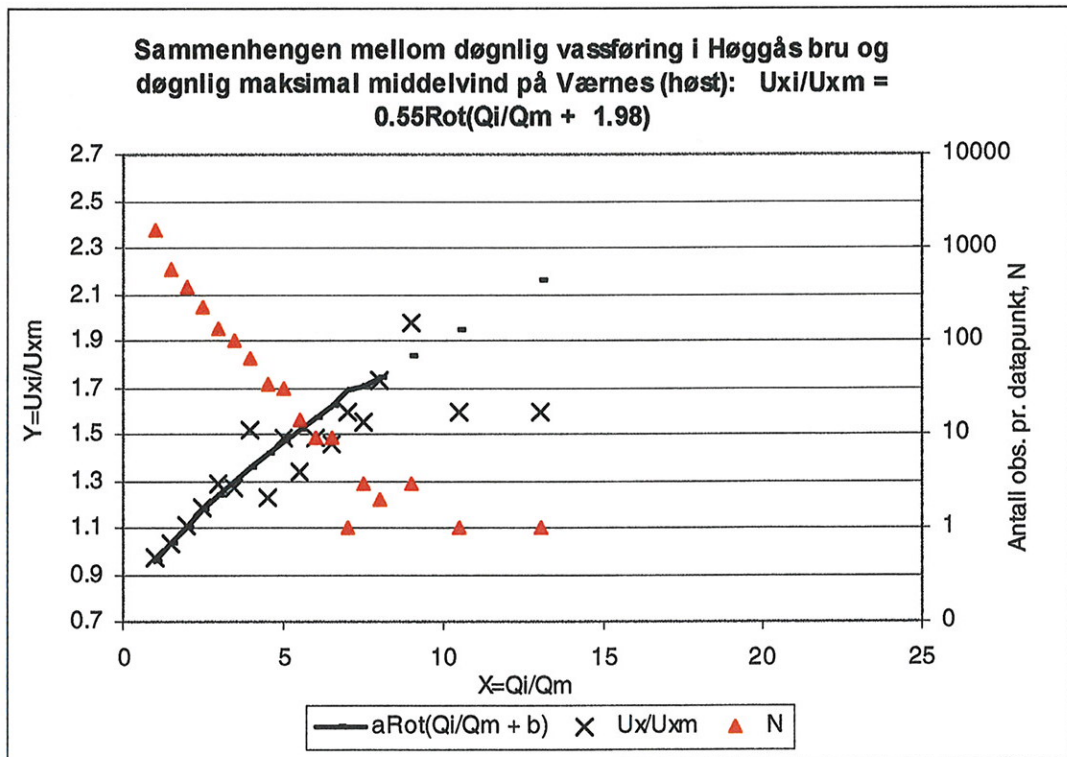
I figur 5 er det laget middelveier for $Qr \in [0.75-1.24]$; $[1.25-1.74]$; osv., og tilhørende middelveier av U_{xr} . Tilpasningslinjen $U_{xr_i} = a\sqrt{Qr_i + b}$ er også gitt.



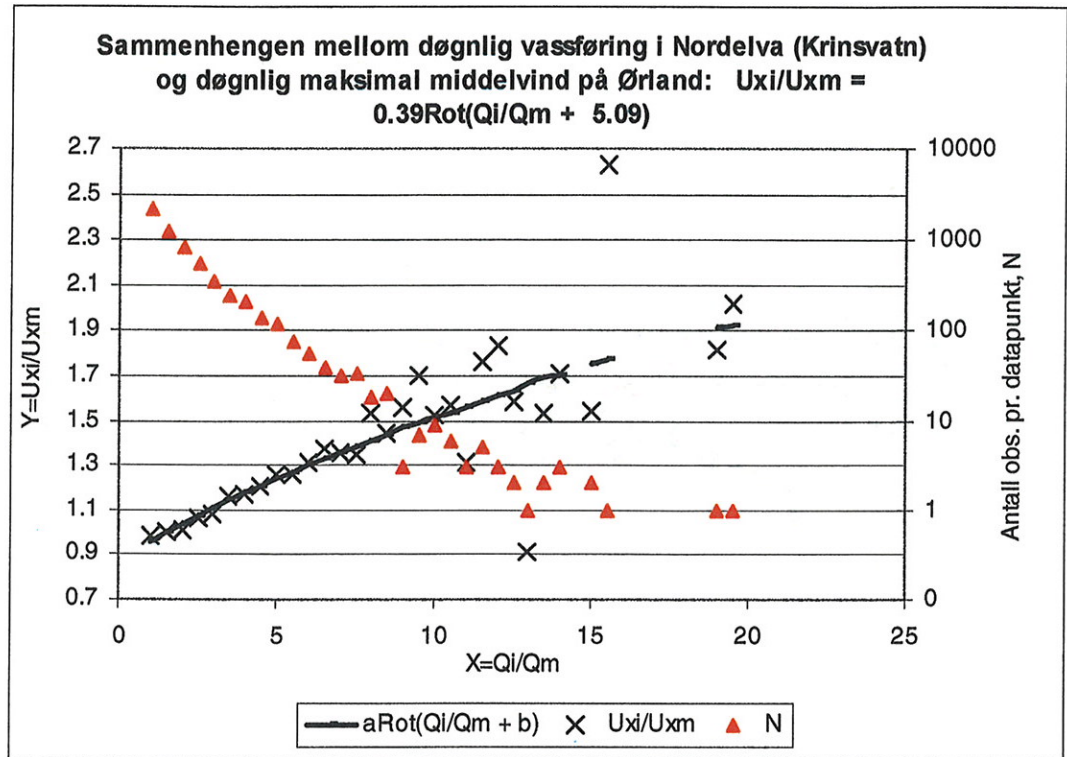
Figur 5a



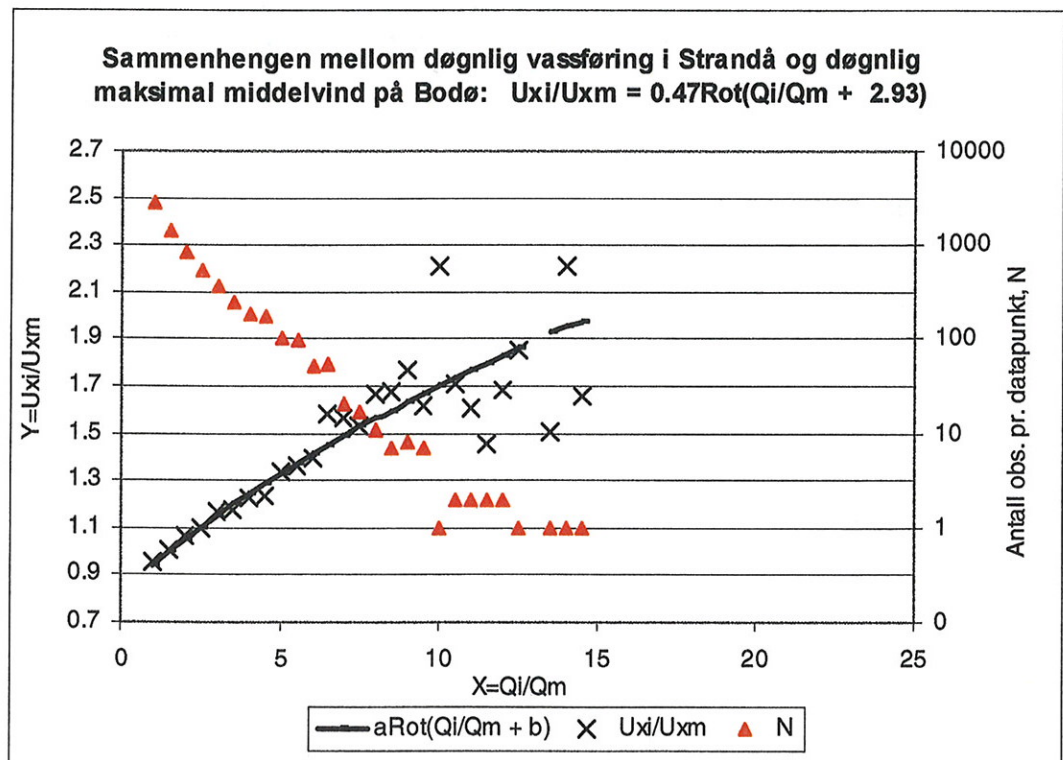
Figur 5b



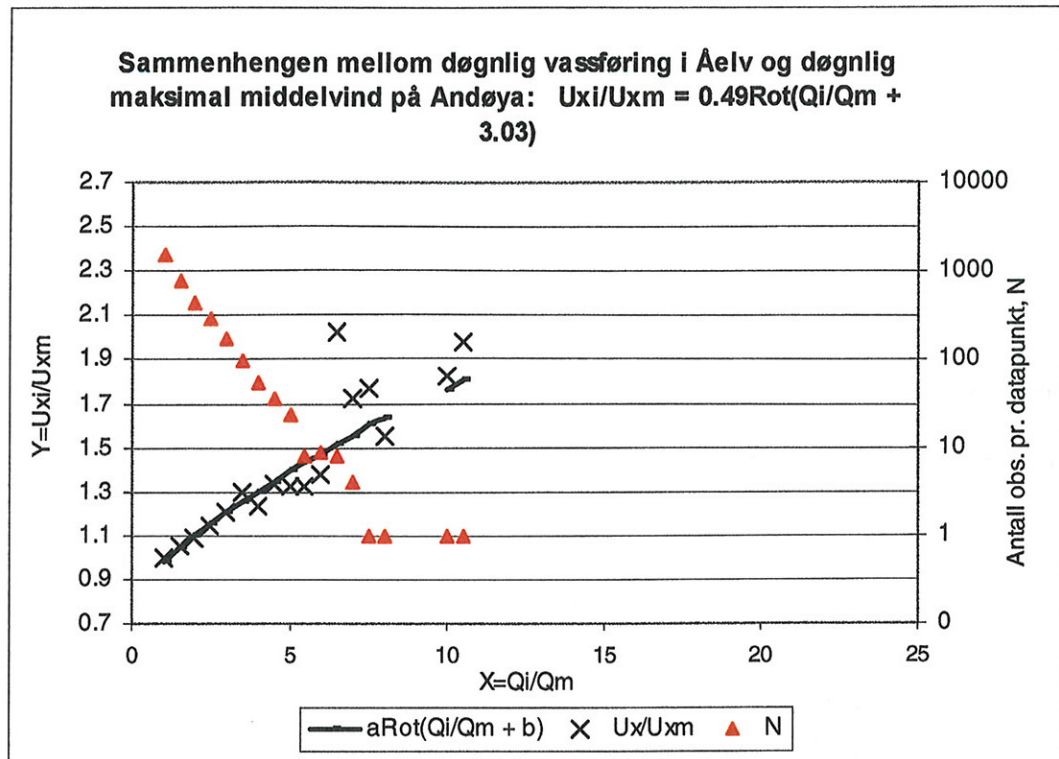
Figur 5c



Figur 5d



Figur 5e



Figur 5f

Figur 5

Plot av U_{x_i} som funksjon av Q_{r_i} der $i=1,2$, osv. svarer til $Q_{r_1} \in [0.75-1.24]$; $Q_{r_2} \in [1.25-1.74]$; osv. Tilsvarende plot av intervallmidlede verdier av $a\text{Rot}(Q_{r_i}+b)$. Også gitt antall datapunkter pr. intervall. Delfigurene a til e gjelder de 5 stasjonene i analysen.

For Ulla (Sola) og Høggås bru (Værnes) er kun høstdata benyttet fordi helårsdata er sterkt influert av smelteflommen i juni, og denne er i mindre grad vindkorrelert. Kurven for Sola gjelder i tillegg bare årsrekken 1957 – 81, hvilket betyr at datamaterialet innsnevet og kurven er usikker. Også Åelv (Andøya) har kort rekke, men likevel en del mer data enn Sola.

Figur 5 viser tydelig at tilpasningen er god for tilstrekkelig antall datapunkter innefor hvert intervall, men når punktmengden pr. intervall faller under ca. 30, kommer avvikene fram. Ved 10 og mindre er spredningen stor. Det er altså ikke mulig å benytte noen få ekstremepisoder for å bestemme tilpasningslinjen. Tilpasningen blir beregnet ved forholdene ved stor, men ikke ekstremt stor, vassføring. Det kommer tydelig fram at det i snitt er sterkere vind ved stor vassføring enn ved middelvassføring. Den beregnede sammenhengen kan brukes til å finne forventningsverdier av vinden ved ekstreme flommer som enten har forekommet sporadisk, eller som bare er gitt gjennom sin returtid, for eksempel 1000 – års flommer.

3.5. Valg av metode for vindbestemmelse ved ekstreme flommer.

Diagrammene i figur 5 viser at krumningen av linjene som angir sammenheng mellom relativ vassføring og relativ vindhastighet ikke er stor over det området vi har data fra. Vi har derfor også gjort en analyse der sammenhengen mellom vassføring og vind er antatt lineær.

$$\frac{U_x}{U_{xm}} = k \frac{Q}{Q_m} + l$$

lign.8

Tabell 6 viser forskjellene i relativt middelavvik mellom estimert vind, \hat{U}_x og observert vind, U_x :

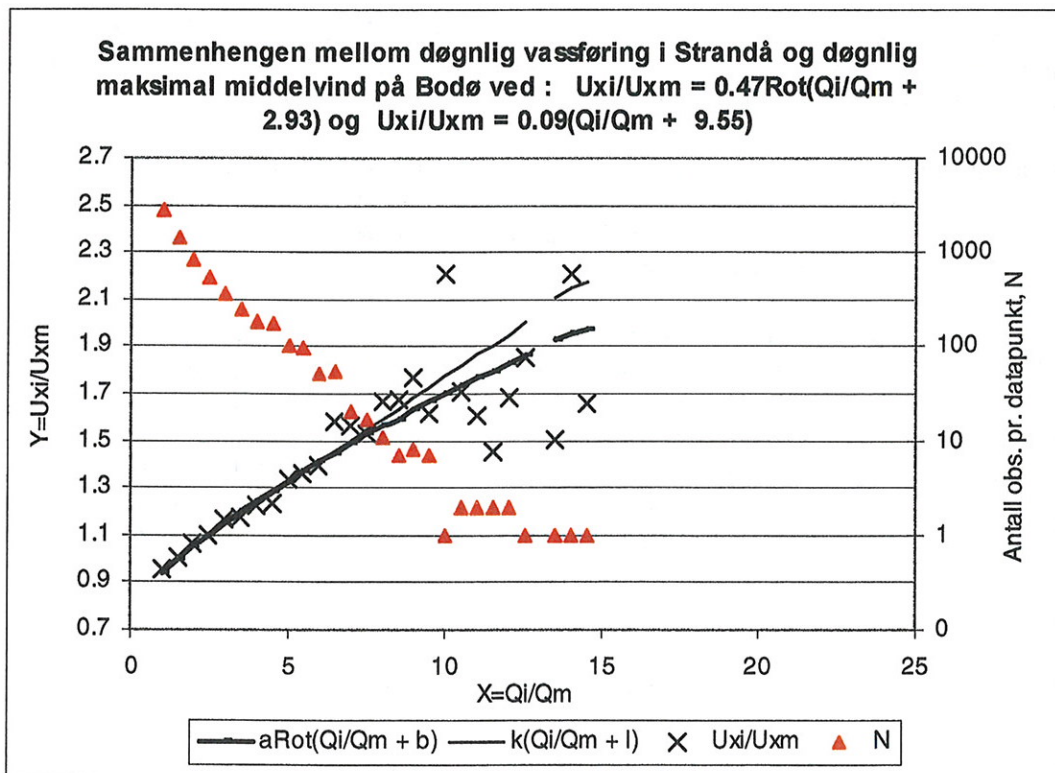
$$RMA = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \frac{1}{U_{xm}^2} (\hat{U}_x - U_x)^2}$$

lign.9

Tabell 6

Relativt middelavvik, RMA mellom observert og modellert vind ved kvadratisk og lineær vindmodell.

Stasjon	Rot(aQr+b)	kQr+l	Differens
Sola_høst	0.37493	0.37496	0.00003
Flesland	0.37244	0.37325	0.00081
Værnes_høst	0.41212	0.41294	0.00082
Ørland	0.41506	0.41502	-0.00004
Bodø	0.36310	0.36357	0.00047
Andøya	0.40492	0.40478	-0.00014

**Figur 6**

Optimalisert tilpasning mellom relativ vindhastighet og relativ flom ved kvadratisk og lineær sammenheng.

Tallene er omtrent helt like for kvadratisk og lineær tilpasning. Figur 6 viser lineær og kvadratisk tilpasning for Bodø (Strandå) og illustrerer at avviket først kommer til syne ved store flommer, og avviket ved 1000 års flom ($Q/Q_m \approx 21$) blir ganske markert (Figur 7). Det er det få observasjoner ved store flommer, og det er ikke nok observasjoner pr. intervall til å stabilisere observasjonskurven. Vi har gjort følgende sjekk: For de

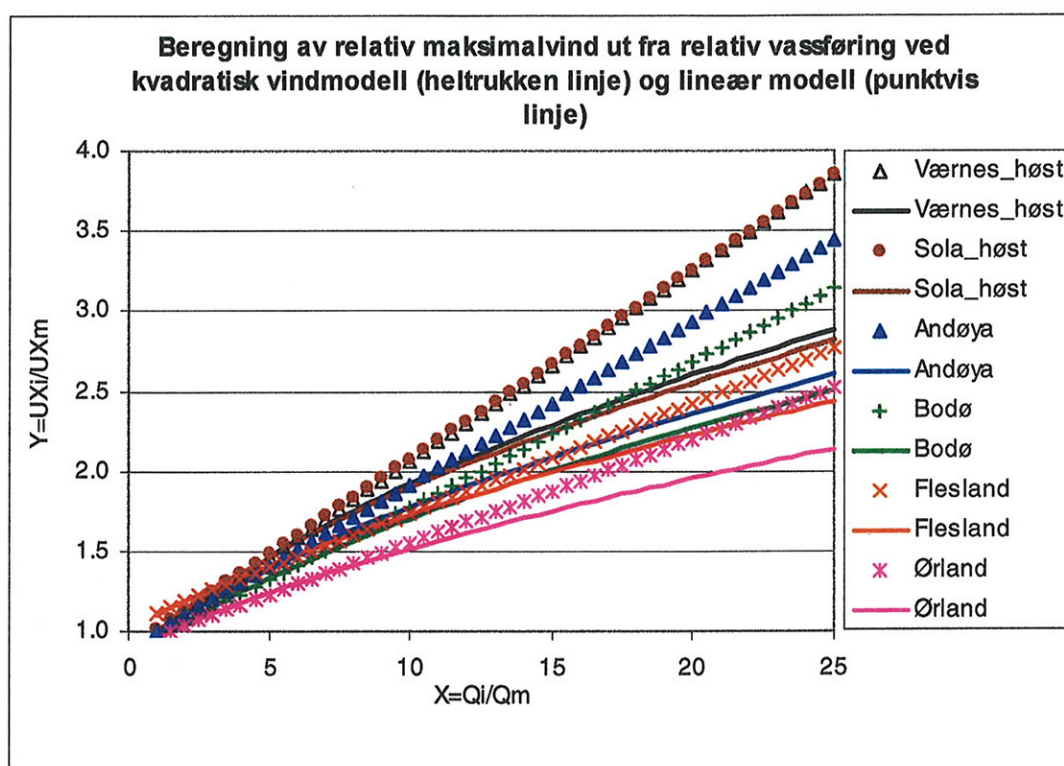
tre stasjonene med lange rekker, dvs. Røykenes (Flesland), Krinsvatn (Ørland) og Strandå (Bodø) med observasjonsrekker på 44 år til rådighet for sammenligningen, er alle observasjoner med $Q/Q_m \geq 10$ tatt med. Da framkommer følgende tabell:

Tabell 7

Beregnet og estimert middeltall for U_x/U_{xm} for $Q/Q_m \geq 10$ for de tre stasjonene med lang serie.

Stasjon	Målt	Rot(aQ_r+b)	kQ_r+l	N
Krinsvatn (Ørland)	1.62	1.61	1.68	39
Strandå (Bodø)	1.72	1.82	1.95	13
Røykenes (Flesland)	1.60	1.82	1.85	41

Tabell 7 viser at tilpasningen til målte data er tydelig forbedret ved bruk av kvadratisk modell i forhold til den lineære modellen når vassføringen er svært høy.

**Figur 7**

Beregning av relativ maksimalvind på 6 vindstasjoner ut fra relativ vassføring på 6 nærliggende vassføringsstasjoner ved kvadratisk vindmodell (heltrukken linje) og lineær modell (punktvis linje). Beregningene er gjort ved tilpasning til data der vassføringen vesentlig ligger mellom 1 og 10 ganger middelvassføringen. Deretter er kurvene ekstrapolert.

En annen indikasjon på at den kvadratiske modellen passer dataene best, får vi ved å beregne returperioder for vind ved ekstremverdier av flom. Den lineære modellen gir store sprik i resultatene ved sjeldne flommer, mens den kvadratiske gir mer samstemmighet i forventet vind. Spredningene er vist i Figur 7. Ved 1000 års flom ligger Q/Q_m i gjennomsnitt på 21.

3.6. Beregning av forventet vind og ulike konfidensnivåer ved ekstremflom

Vi benytter den kvadratiske modellen i videre analyse. Når a og b er bestemt, kan vi av lign. 6 finne forventningsverdiene U_x og videre, U_x , ved en gitt vassføringsverdi, Q . Vassføringsdataene er

Gumbelanalysert ved Liebleins tilpasningsmetode (3). Av denne har vi beregnet ekstremverdier med returperioder fra 50 til 1000 år. Av ligning 6 kan vi da finne forventningsverdien for U_x gitt 1000års flom.

Nå er leddet e i lign. 4 en svært variabel verdi, dvs. at til enkeltobservasjoner for vassføring er tilknyttet store vindvariasjoner. Dette kommer tydelig fram idet korrelasjonskoeffisienten mellom U_x og Q er lav (Tabell 4). Dette betyr igjen at det er relativt store sjanser for både sterkere og svakere vind enn forventningsverdien ved en gitt flomreturperiode. For eksempel, for Nordelva (Krinsvatn) ved Ørland er 5 års flomverdi funnet til 161 m^3/s . For de 8 tilfellene med $161 \pm 10 m^3/s$ har vi følgende vindobservasjoner for U_x : 13.9 - 18.0 - 24.2 - 12.9 - 19.0 - 17.0 - 15.4 - 9.3 m/s. Forventningsverdien varierer fra 16.3 til 17.0 m/s (150 - 170 m^3/s). For 1000 års verdien, beregnet til 344 m^3/s er forventet vindverdi 22.3 m/s. Spørsmålet er da i hvilken grad vi skal ta hensyn til en slik variasjon. Et hjelpemiddel kan være å se på standardavviket for vind gitt sterk vassføring. Suksessiv beregning av standardavviket pr. 100 observasjoner av flom rangert fra høyeste verdi ved de 30% høyeste vassføringene, og deretter midlet, gir et estimat på 4.74 m/s. Dvs. at i 16% av tilfellene med 1000 års flom vil vindhastigheten være større enn $22.3 + 4.7 m/s = 27 m/s$.

Det viser seg at standardavviket beregnet direkte ved de 30% største flomverdiene avviker lite fra beregningen ved sterk vind som over, for eksempel blir verdien på Ørland da beregnet til 4.66 m/s. Dette gjelder for alle de analyserte stasjonene. Vi forenkler derfor analysen og beregner kun standardavviket av døgnlig maksimum av 10 minutters middelvind, σ_{ux} , ved 30% største flomverdier, og legger dette til forventningsverdien. Ved normalfordeling vil dette svare til 84% - konfidensnivået. Tilsvarende, dersom vi ønsker en 95% konfidens - verdi, kan vi legge til $1.65 \sigma_{ux}$. Trolig er normalfordelingsforutsetningen ikke helt holdbar fordi fordelingen er haletung, men vi antar at dette ikke gjør stort utslag.

Ved 1000 års flom for stasjonene som har en tydelig korrelasjon med vinden, dvs. Andøya, Bodø, Værnes (høst), Ørland, Flesland, Sola (høst) svarer $\hat{U}_x + \sigma_{ux}$ til en 5 års verdi (2 til 10 år) av U_x , mens $\hat{U}_x + 1.65 \sigma_{ux}$ svarer til en 20 års verdi (5 til 50 år).

$$\hat{U}_x | Q_{1000\text{år}}; 0.84 = \hat{U}_x | Q_{1000\text{år}} + \sigma_{ux} = U_x (5\text{år}) \quad \text{lign.10}$$

$$\hat{U}_x | Q_{1000\text{år}}; 0.95 = \hat{U}_x | Q_{1000\text{år}} + 1.65 \sigma_{ux} = U_x (20\text{år}) \quad \text{lign.11}$$

Vi har da betraktet variasjonene i vindhastigheten som det største bidraget til usikkerheten. En mer presis formulering av de to konfidensnivåene vil også måtte medføre et anslag av usikkerhet i beregningen av 1000 års flom og 2 til 50 års vind. Likevel representerer disse usikkerhetene et mindre bidrag enn forventet variasjon i vindverdien og vil ikke gi store bidrag i en feilanalyse. For eksempel, av tabell 11 ser vi at forventet U_x ved 100 - års flom er 2.1 m/s lavere enn forventet verdi ved 1000 - års flom. Et usikkerhetsanslag på 1000 års flom svarende til [100 års verdi - 10 000 års verdi) svarer da til $\pm 2 m/s$ i forventet vind. Usikkerheten i bestemmelsen av vind med lave returperioder er ventelig lavere enn $\pm 2 m/s$. Ved vanlig usikkerhetsanalyse kan vi da si at samlet påslag ikke overstiger $\pm 5 m/s$ dersom standardavviket er $\pm 4 m/s$ ($\pm \sqrt{2^2 + 2^2 + 4^2} \approx \pm 5$).

Tabell 8

Middelverdi, Q_m og 70% persentilen, Q_{70} av døgnlig vassføring. Ekstremverdier av døgnvassføring [m^3/s] med 100, 200, 500 og 1000 års returperiode beregnet for 5 stasjoner ved Gumbels metode og Liebleins tilpasning av parametre.

Stasjon	Døgnlig vassføring, Q [m^3/s]					
	Q_m	Q_{70}	100 år	200 år	500 år	1000 år
Hauge bru_høst	31.75	35.74	413.7	455.4	510.5	552.1
Røykenes	4.90	5.22	92.8	100.9	111.7	119.8
Værnes_høst	18.7	143.9	276.3	303.3	338.9	365.8
Krinsvatn	12.99	13.11	266.7	290.0	320.7	343.9
Strandå	1.38	1.53	22.6	24.6	27.2	29.1
Åelv	2.27	2.57	27.3	29.9	33.3	35.8

Tabell 9

Returperioder av døgning vassføring skalert mot middelvassføringen.

Stasjon	Relativ vassføring, Q/Qm			
	100 år	200 år	500 år	1000 år
Hauge bru_høst	13.0	14.3	16.1	17.4
Røykenes	18.9	20.6	22.8	24.5
Værnes_høst	14.8	16.2	18.1	19.6
Krinsvatn	20.5	22.3	24.7	26.5
Strandå	16.3	17.8	19.7	21.1
Åelv	12.1	13.2	14.7	15.8
Snitt	15.9	17.4	19.3	20.8

Tabell 10

Ekstremverdier av 10 minutters middelvind [m/s] med 2 til 100 års returperiode beregnet for 6 vindstasjoner ved Gumbels metode og Liebleins tilpasning av parametre.

	2 år	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år
Sola	21.1	23.4	24.8	26.2	27.9	29.1
Flesland	18.6	20.6	21.9	23.1	24.6	25.6
Værnes	22.1	24.1	25.4	26.6	28.1	29.2
Ørland	26.1	28.7	30.4	31.9	33.8	35.1
Bodø	24.1	26.4	27.8	29.1	30.7	31.8
Andøya	25.0	27.8	29.5	31.1	33.0	34.4
Snitt	22.8	25.2	26.6	28.0	29.7	30.9

Tabell 11

Forventet verdi og standardavvik av døgning maksimalverdi av 10 min middelvind [m/s] gitt flom av 100 til 1000 års returperiode. Anslag av 84 og 95 % konfidensverdier for vindverdi ved 1000 års flom, gitt som m/s og som tilsvarene vassføringsuavhengig returperiode.

Stasjon	$\hat{U}_x $	$\hat{U}_x $	$\hat{U}_x $	$\hat{U}_x $	σ_{ux}	$\hat{U}_x Q_{1000\text{år}}$		$\hat{U}_x Q_{1000\text{år}}$	
	$Q_{100\text{år}}$	$Q_{200\text{år}}$	$Q_{500\text{år}}$	$Q_{1000\text{år}}$		$+ \sigma_{ux}$	(84%)	$+ 1.65\sigma_{ux}$	(95%)
Sola_høst	18.5	19.3	20.2	20.9	3.9	24.8	10 år	27.3	40 år
Flesland	15.5	16.0	16.7	17.1	3.3	20.5	5 år	22.6	20 år
Værnes_høst	17.6	18.3	19.2	19.9	3.7	23.6	4 år	26.0	12 år
Ørland	20.1	20.8	21.7	22.4	4.7	27.0	3 år	30.1	10 år
Bodø	21.3	22.1	23.0	23.7	4.3	28.0	10 år	30.8	50 år
Andøya	18.4	19.0	19.9	20.5	4.4	24.9	2 år	27.8	5 år
Snitt	18.6	19.2	20.1	20.7	4.1	24.8	5 år	27.5	20 år

Det er på sin plass med en liten kommentar vedrørende datarepresentasjonens tidsskala. Vassføringsdataene representerer døgningmidler, mens vinddataene representerer maksimal 10 minutters middelvind pr. døgning. Den aktuelle flomtoppverdien vil således være høyere enn døgningmidlet. På den annen side vil maksimalvinden da ofte ikke treffe flomtoppen. Siden aktuelt bruk gjelder dammer, og derved dempninger av vassføringen, er det neppe nødvendig å legge inn korreksjoner på grunn av dette forhold. Dog kan en nøyere undersøkelse der vi går inn i en kortere serie og ser på døgningvariasjonen av vannstand og vind anbefales.

Tabell 12 viser hvorledes vindhastigheten ligger i de 10 episodene med størst vassføring på de 6 stasjonene. I tillegg er det vist forventet vindverdi ved bruk av kvadratisk metode, samt forventet verdi med tillegg av 1 og 1.65 standardavvik. Tabellen viser at det i snitt er ganske bra overenstemmelse mellom forventet og målt verdi, dersom vi ser alle 10x6 verdiene under ett, mens midling av 6 stasjonsverdier pr. rangverdi ikke er nok til å midle ut tilfeldighetene. Tabellen illustrerer også at det kan være fornuftig å legge til 1 eller 1.65 standardavvik ved dimensjonering på grunn av de store vindvariasjonene.

Tabell 12

Målt og estimert verdi av maksimal 10 minutters middelvind [m/s] for de 10 høyeste vassføringsdøgn på nærliggende vassføringstasjon i måleperioden, rangert etter vassføringsverdi. Estimert vindverdi gjelder kvadratisk metode.

Sola_høst				
	U _x	\hat{U}_x	\hat{U}_x + σ_{ux}	\hat{U}_x +1.65 σ_{ux}
1	9.8	14.3	18.2	20.7
2	9.8	14.0	17.9	20.4
3	15.4	14.0	17.9	20.4
4	26.8	14.0	17.9	20.4
5	12.3	13.7	17.5	20.1
6	12.3	13.7	17.5	20.1
7	15.4	13.5	17.3	19.9
8	9.8	13.3	17.2	19.7
9	19.0	13.3	17.2	19.7
10	15.4	13.3	17.2	19.7
U _{x10H}	14.6	13.7		

Flesland				
	U _x	U _x	\hat{U}_x + σ_{ux}	\hat{U}_x +1.65 σ_{ux}
1	9.3	14.2	17.5	19.7
2	9.8	14.1	17.4	19.6
3	8.7	14.0	17.3	19.5
4	9.8	13.9	17.2	19.4
5	7.7	13.8	17.2	19.3
6	15.4	13.6	17.0	19.1
7	12.3	13.5	16.8	19.0
8	19.0	13.4	16.7	18.9
9	9.8	13.4	16.7	18.8
10	9.8	13.2	16.5	18.7
U _{x10H}	11.2	13.7		

Værnes_høst				
	U _x	\hat{U}_x	\hat{U}_x + σ_{ux}	\hat{U}_x +1.65 σ_{ux}
1	12.3	16.7	20.4	22.8
2	12.3	15.0	18.7	21.1
3	6.7	14.2	17.9	20.3
4	16.5	14.2	17.9	20.3
5	22.6	14.1	17.8	20.2
6	11.3	13.5	17.2	19.7
7	15.4	13.4	17.1	19.5
8	11.3	13.2	17.0	19.4
9	12.3	13.2	16.9	19.3
10	12.3	13.1	16.8	19.3
U _{x10H}	13.3	14.1		

Ørland				
	U _x	\hat{U}_x	\hat{U}_x + σ_{ux}	\hat{U}_x +1.65 σ_{ux}
1	20.6	19.7	24.3	27.4
2	18.5	19.6	24.2	27.3
3	26.8	18.1	22.7	25.8
4	17.0	17.9	22.6	25.6
5	14.4	17.9	22.5	25.6
6	17.5	17.5	22.1	25.2
7	19.5	17.3	22.0	25.0
8	15.4	17.3	22.0	25.0
9	15.4	17.3	21.9	25.0
10	15.9	17.2	21.9	24.9
U _{x10H}	18.1	18.0		

Bodø				
	U _x	\hat{U}_x	\hat{U}_x + σ_{ux}	\hat{U}_x +1.65 σ_{ux}
1	15.9	23.9	28.2	30.9
2	17.0	20.2	24.5	27.3
3	22.6	20.0	24.3	27.1
4	15.4	19.7	24.0	26.8
5	19.0	19.1	23.4	26.2
6	19.0	18.7	23.0	25.8
7	15.4	18.6	22.9	25.7
8	10.8	18.4	22.7	25.4
9	19.0	18.4	22.6	25.4
10	15.4	18.2	22.5	25.2
U _{x10H}	17.0	19.5		

Andøya				
	U _x	\hat{U}_x	\hat{U}_x + σ_{ux}	\hat{U}_x +1.65 σ_{ux}
1	19.0	17.4	21.8	24.7
2	17.5	16.9	21.4	24.2
3	14.9	15.7	20.2	23.1
4	17.0	15.4	19.9	22.7
5	13.9	15.1	19.5	22.4
6	19.0	15.0	19.5	22.3
7	23.2	14.9	19.4	22.2
8	10.3	14.8	19.2	22.1
9	19.0	14.7	19.1	22.0
10	20.1	14.7	19.1	22.0
U _{x10H}	17.4	15.5		

Snitt		
	U _x	\hat{U}_x
1	14.5	17.7
2	14.2	16.6
3	15.9	16.0
4	17.1	15.9
5	15.0	15.6
6	15.8	15.3
7	16.9	15.2
8	12.8	15.1
9	15.8	15.0
10	14.8	15.0
U _{x10H}	15.3	15.7

4. Konklusjon

For det benyttede utvalget av vassføringsfelt, dvs. små og middelstore og uregulerte felt med lav dempning gjelder:

Korrelasjonen mellom vind og flom er lav, for kystnære felt ligger korrelasjonskoeffisienten på cirka 0.2 (0.10 – 0.35). For mer innlandspregede felt er korrelasjonen bortimot fraværende. Dette skyldes at spredningen i de to parameterne i stor grad er knyttet til andre forhold. Dersom vi forsøker å rendyrke vær-situasjonene for de maritime feltene, for eksempel ved kun å se på høstflommer og innskrenke oss til nedbørførende vindretninger, forbedres korrelasjonen, og korrelasjonskoeffisienten går opp i 0.5 (0.41 – 0.56). Dette illustrerer at det likevel finnes tydelige sammenhenger.

Korrelasjonen mellom vind og vassføring er størst for nedbørfelt med maritimt klima og helårsflommer. Vi benytter derfor data derfra. For felt i samme klimasone, men i høyere liggende nivåer og dertil store snømagasiner, har det vært nødvendig å kun benytte høstsesongen. Siden sammenhengen mellom vind og flom er størst i de benyttede klimasoner, vil resultatene gi noe konservative resultater for mer kontinentale felt.

Vi har funnet at sammenhengen mellom relativ vindhastighet og relativ vassføring kan skrives som

$$\frac{U_{x_i}}{U_{xm}} = a \sqrt{\frac{Q_i}{Q_m}} + b$$

der i representerer et begrenset intervall for vassføring med tilhørende gjennomsnittsvind, U_{x_i} . Den fysiske årsaken til at vassføring følger en kvadratisk vindavhengighet ligger trolig i at sammenhengen kan knyttes til kinetisk energi i luftmassene. Ligningen er tilpasset materialet for alle flomdøgn over 70 % persentilen, dvs. for de 30% av døgnene som har størst vassføring. Avhengigheten er markant, men det er stor spredning i vinddata innenfor små vassføringsintervall, og $i=30$ synes være en nedre grense for observasjonspunkter pr. intervall. Vassføringsintervallene bør ikke være for store, dette betyr at det skal lange serier til for å bestemme kurven, og at de sjeldne flommene har liten innflytelse på kurven.

For de maritime feltene ligger forventningsverdien av maksimal 10 minutters middelvind ved 100 – års flom i gjennomsnitt på 18.6 m/s. Ved 1000 – års flom er tilsvarende tall 20.8 m/s, det svarer til cirka 1 års returperiode for vindparameteren alene. Standardavviket, σ_{ux} på vindparameteren ligger på 4.1 m/s.

På grunn av den store variasjonen kan det være hensiktsmessig å ta høyde for større vindhastigheter ved 1000 års – flommen. Et estimat med 84% konfidensgrense er beregnet til vind med 5års returperiode og 95% konfidensgrense til 20 års returperiode. Konfidensgrensene er tatt som forventningsverdi med tillegg av $1\sigma_{ux}$ og $1.65\sigma_{ux}$ respektivt.

5. Referanseliste

1. Førland, E. J. og Harstveit, K., 1993: *Nedbør- og vindforhold ved høye vannstander i Aursjøen*, DNMI Klima, 23/93. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
2. Harstveit, K., 1984: *Snowmelt and energy exchange between the atmosphere and a melting snow cover*, Scientific report no. 4, Avdeling for meteorology, Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen, 1984.
3. Gumbel, E.J., 1958: *Statistics of extremes*, Columbia University Press, New York, 1958.
4. Lieblein, J., 1974: *Efficient Methods of Extreme-Value Methodology*, National Bureau of Standards, NBSIR 74-602, Washington, 1974.
5. Harris, R.I., 1996: *Gumbel re-visited - a new look at extreme value statistics applied to wind speeds*, Journal of Industrial Aerodynamics, 59. p.1-22, 1996.
6. NS 3491-4., 2001: *Prosjektering av konstruksjoner – Dimensjonerende laster – Del 4 Vindlaster*. Norges Byggstandardiseringsråd, NBR, Oslo.

6. Symbolliste

FF	10 minutters middelvind målt 3 eller 4 ganger pr døgn
FX	Maksimum 10 minutters middelvind siden siste værobservasjon
N	Antall døgnverdier
P	Sannsynlighet for ikke-overskridelse i et enkelt år
Q	Døgnmidlet vassføring [m^3/s]
Q_i	Middelvassføring i intervall nr. i [m^3/s]
Q_m	Langtids middelvassføring [m^3/s]
$Q_{m,i}$	Middelvassføring i år nr. i [m^3/s]
Q_{max}	Maksimal døgnvassføring i lang datarekke [m^3/s]
$Q_{max,i}$	Maksimal døgnvassføring i år nr. i [m^3/s]
Q_r	Dimensjonsløs vassføring, $Q_r=Q/Q_m$
$Q_{r,i}$	Dimensjonsløs vassføring I intervall nr. i, $Q_{r,i}=Q_i/Q_m$
Q_{70}	70% persentilen av Q
R-s	Nedbørførende sektor
RMA	Relativt middelavvik
T	Returperiode [år]
U	Vindhastighet [m/s]
U_x	Maksimal 10 min middelvind pr. døgn [m/s]

U_{X_i}	Midlere vindhastighet i Q - intervall nr. i [m/s]
U_{Xm}	Langtids middelerdi av maksimal 10 min middelvind pr. døgn [m/s]
U_{Xr}	Dimensjonsløs middelerdi av maksimal 10 min middelvind pr. døgn [m/s]
U_{Xr_i}	Dimensjonsløs middelerdi av maksimal 10 min middelvind pr. døgn i intervall nr. i [m/s]
$U_{X_{99.75}}$	Midlere verdi av U_x for Q over 99.75% - persentilen
$U_{X_{10H}}$	Midlere verdi av U_x ved de 10 største døgnflommene
\hat{U}_x	Forventet verdi av maksimal 10 min middelvind
\hat{U}_{Xr}	Forventet relative verdi av maksimal 10 min middelvind
$\hat{U}_x Q_{Tår}$	Forventet verdi av maksimal 10 min middelvind gitt T års flom
a	Konstant i dimensjonsløs, kvadratisk vind/vassføringsmodell
a'	Konstant i kvadratisk vind/vassføringsmodell
a''	Konstant i kvadratisk vind/nedbør relasjon
a'''	Konstant i lineær vind/nedbør relasjon
b	Konstant i dimensjonsløs, kvadratisk vind/vassføringsmodell
b'	Konstant i kvadratisk vind/vassføringsmodell
b''	Konstant i kvadratisk vind/nedbør relasjon
b'''	Konstant i lineær vind/nedbør relasjon
e	Restledd i kvadratisk vind/vassføringsmodell
e'	Restledd i kvadratisk vind/nedbør relasjon
e''	Restledd i lineær vind/nedbør relasjon
k	Konstant i lineær vind/vassføringsmodell
l	Konstant i lineær vind/vassføringsmodell
n	Transformasjonskoeffisient for vindhastighet i Gumbelfordelingen
r	Korrelasjonskoeffisient
s	Sektor [°]
α	Parameter i Gumbelfordelingen
β	Parameter i Gumbelfordelingen
σ_{ux}	Standardavvik av serien med døgnlige maksimalverdier av vindhastigheten