

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN



Arne Tollan

LITT OM MAKSIMALFLOMMER OG STATISTISK BEHANDLING
AV FORSKJELLIGE FLOMTYPER

(Bidrag til Den 4. Nordiske Hydrologkonferanse
i Reykjavik, August 1964)

NORGES
VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
BIBLIOTEK

Rapport nr. 3

fra

HYDROLOGISK AVDELING

1964

556(05)

N 76

A. Tollan:

LITT OM MAKSIMALFLOMMER OG STATISTISK BEHANDLING AV FORSKJELLIGE FLOMTYPER

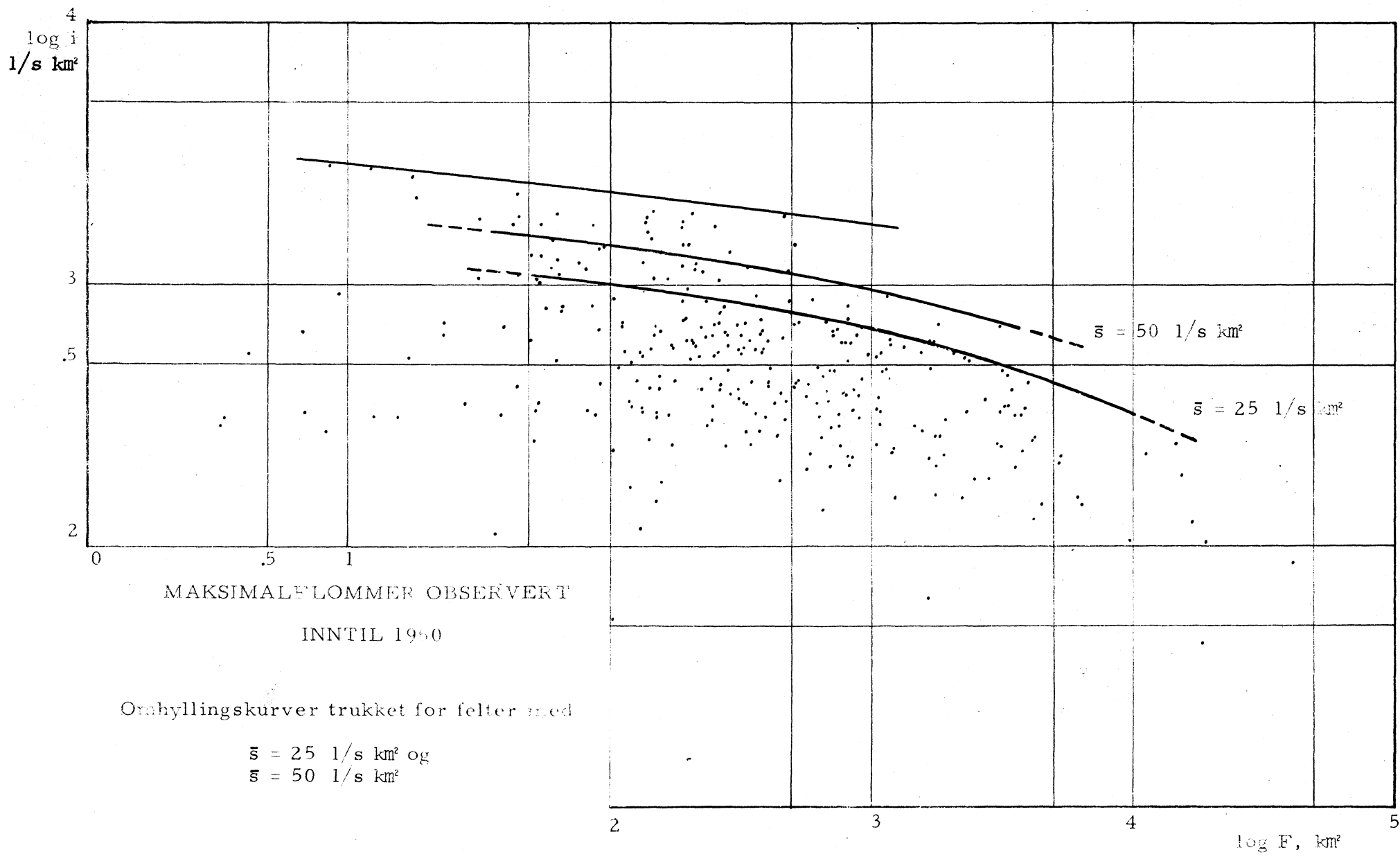
En av de mest betydningsfulle oppgaver hydrologien må besvare er spørsmålene om maksimalflommer i vassdragene. Det skulle være unødvendig å understreke den avgjørende rolle flomberegninger spiller, eller burde spille, ved anlegg og bygg av alle slag der vannet i bekker og elver kan påvirke bygningsarbeidet og det ferdige byggverk. På alle trin, fra de minste stikkrenner til kjempe-messige dammer, fra avløpssluket i rennesteinen til brukonstruksjoner over store floder må den samvittighetsfulle planlegger beregne, eller i det minste foreta et skjønn av hvilke flommengder som kan ventes. Det er derfor ikke å undres over at formler for beregning av en maksimal påregnelig flom stadig ser dagens lys. Den direkte nytteverdien av slike beregninger går tydelig fram av det engelske uttrykket "design flood".

Det sammenlikningsgrunnlaget man benyttet i tidligere empiriske formler var ofte den maksimalt observerte flom. Den endelige formel var som oftest av formen

$$q = c \cdot f(F)$$

med nedbørfeltet, F , som eneste variabel. Konstanten c antok gjerne varierende verdier etter retningslinjer oppgitt av formelens forfatter. Felles for de fleste av disse formlene var at de gjaldt med god tilnærming for den region hvor de var utviklet, men var lite anvendelige i andre områder.

På fig. 1 er vist de maksimalt observerte flomintensiteter ($l/s \cdot km^2$) ved norske vannmerker som funksjon av nedbørfeltets størrelse (km^2). Materialet omfatter 329 vannmerker uten eller med meget moderate reguleringer i nedbørfeltene. Observasjonene er ført fram til 1960. På figuren er trukket en omhyllingskurve om de største flommene og sekundære omhyllingskurver om vannmerker med normalt spesifikt avløp under henholdsvis 25 og 50 $l/s \cdot km^2$. Materialet tillater ikke en nøyere atskillelse etter spesifikt avløp. Blant de høyeste flomobservasjonene som har vært bestemmende for opptrekkingen av den totale omhyllingskurven finnes felter med



SN1-2
FIG. 1

normalt spesifikt avløp fra ca. 75 til ca. 150 l/s. km². Likningene for omhyllingskurvene er ikke bestemt, men ser ut til å være av formen

$$i = a (F + b)^c$$

der i er flomintensiteten og a , b og c er konstanter.

En liknende undersøkelse av italienske flommer (MARCHETTI, 1954) førte til omhyllingskurver (for flommer med både høy og lav intensitet) med likninger

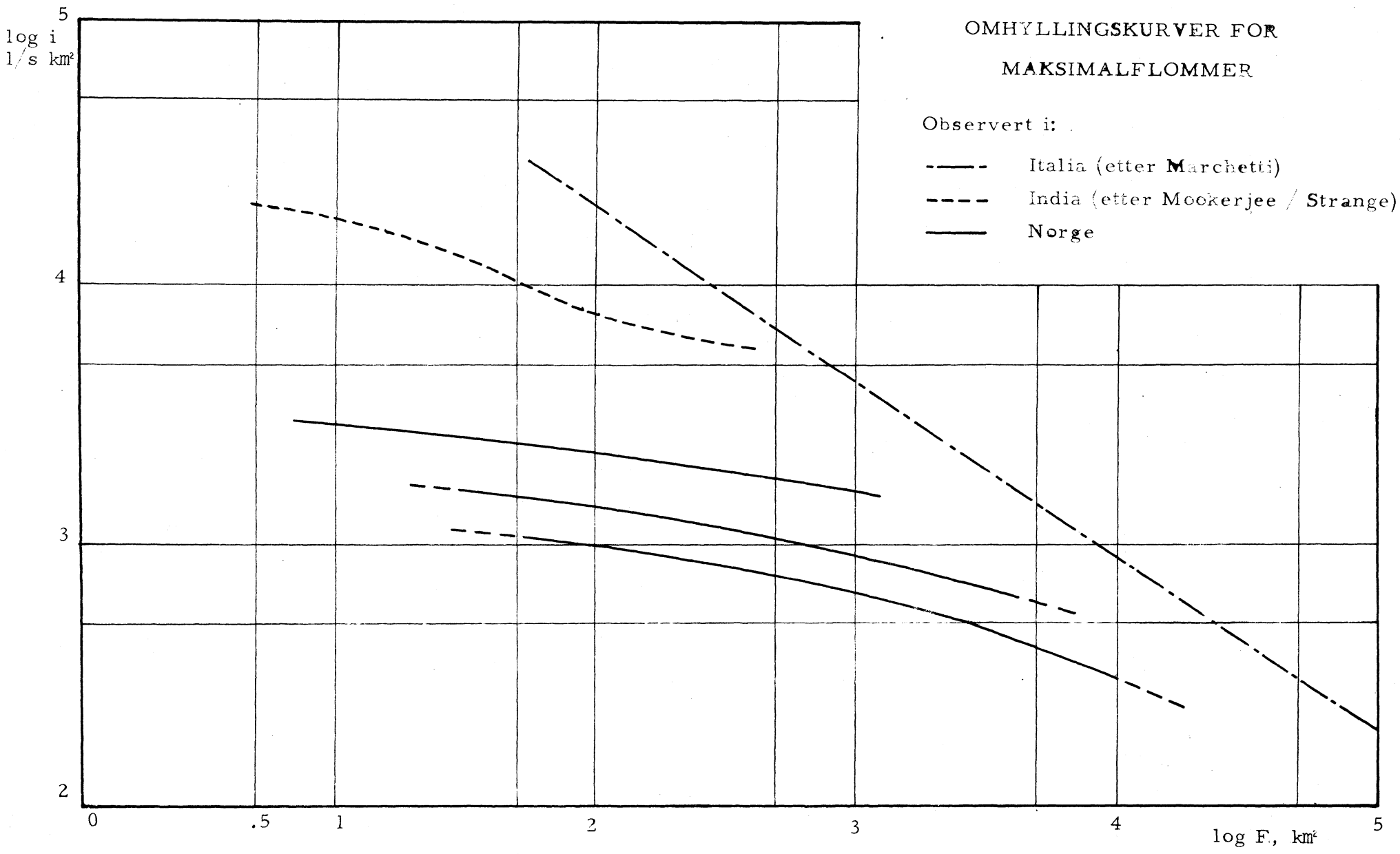
$$i = a \cdot F^{-\frac{2}{3}}$$

På fig. 2 er omhyllingskurvene for disse to undersøkelsene sammenholdt med en kurve trukket på grunnlag av empiriske verdier fra India (MOOKERJEE, 1951). De utenlandske kurvene viser tildels langt større flomintensitet enn i våre elver. Særlig gjelder dette små felter. De sekundære omhyllingskurvene viser også at nedbørmengden, eller bedre avløpet har betydning for flomintensiteten.

I Norge har empiriske formler lenge vært brukt til flomberegning. Avd. dir. R. Søgne utarbeidet i 1920-årene et formelverk basert på de inntil da observert flommene, og med nedbørfeltets areal og lengde, normalt spesifikt avløp og effektiv sjøprosent som variable (SØGNEN, 1935). Disse formlene har i Norge vært brukt både av Hydrologisk avdeling og andre som har hatt bruk for beregning av en maksimal påregnelig flom. I de senere år har en parallelt med denne metoden anvendt sannsynlighetsregning. Dette må betraktes som en overlegen metode for bedømmelse av forventede flomstørrelser der observasjoner over en årrekke foreligger.

I det følgende blir omtalt noen enkle studier av flommer i norske Vestlands-vassdrag der anvendelsen av statistiske metoder blir skissert. Det tallmessige grunnlaget for undersøkelsen utgjøres av observerte døgnmiddelavløp. Dette medfører en begrensning i anvendelsen av eventuelle slutninger, idet det som regel er spørsmål etter hyppigheten av en kulminasjonsvannføring. I de fleste tilfeller er avløp ved observert vannstand et bestemt klokkeslett oppfattet som døgnmiddel. Bare unntaksvis vil dette falle sammen med kulminerende vannføring som antas å være en mere representativ flomstørrelse.

Det er i flere arbeider vist at årlig maksimalflom for en årrekke



5N1-4
Fig. 2

av observasjoner i et vassdrag er logaritmisk normalfordelt med god tilnærmelse. Det vil si at sannsynlighetsfordelingen er gitt ved

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s_x} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2s_x^2}}$$

der $x = \log q$, q f. eks. årlig maksimalflom, og s_x er standardavviket for x . Strek over de variable betegner middelveier.

Dersom forutsetningen om en logaritmisk normalfordeling er oppfylt kan den flomstørrelse som overskrides med en viss sannsynlighet, eller sagt med andre ord: den flomstørrelse som overskrides en gang i løpet av tiden t , finnes av likningen

$$\log q_t = \overline{\log q} + a \cdot s_x$$

Verdien av a avhenger av t og finnes i tabeller over normalfordelingen. Det har vist seg at årlig maksimal kulminasjonsvannføring er godt logaritmisk normalfordelt (f. eks. OLOFGÖRS, 1951). Dersom årlig maksimalt flomvolum brukes i beregningen viser det seg gjerne en skjevhet i fordelingen som det må tas hensyn til (SCHWARTZ, 1957, BEARD, 1962). En viss skjevhet vil alltid forekomme selv i godt normalfordelte mengder, og en nøyaktig flomanalyse tar hensyn til dette selv om beregningen gjelder kulminasjonsvannføringer. Det er utarbeidet en lang rekke tilnærmingsmetoder som tildels bygger på forskjellige matematiske uttrykk for skjevheten. Ved Hydrologisk avdeling har det vært vanlig å følge en metode som er foreslått av Grassberger (GRASSBERGER, 1936). Under den foreliggende undersøkelsen er det for å samle erfaringer brukt samme måte som U S Army Engineers anbefaler (BEARD, 1962). Når skjevheten, g , beregnes som tredje moment om middelveier

$$g = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

vil for en normalfordeling $g = 0$. Skjevheten er lett å beregne og man får raskt en oppfatning om hvor godt mengden av maksimalflommer er tilnærmet normalfordelingen.

Det er for disse studiene plukket ut 14 vannmerker på Sørlandet og Vestlandet med lange perioder, ca. 45-70 år, og disse er sammenliknet med en kontrollgruppe på 5 merker fra spredte deler av det

øvrige Norge. For hvert år i observasjonsperioden er det utskilt maksimalt døgnavløp om våren og for resten av året. Det fremkommer på det vis for hvert vannmerke to rekker av genetisk forskjellige flomvannføringer, en snøsmeltingsflom, eventuelt med nedbørtilskudd, og en overveiende regnflom. Disse to typene er i det følgende for enkelhets skyld kalt vår- og høstflom. Median kulminasjonsdato for vårflommene er på Sørlandet og Vestlandet i mai og juni unntatt de ytterste strøkene der flommene ofte har kulminert i april. Det har vist seg nødvendig å "tøye" våren noe i enkelte tilfeller for å få med store flommer senvinters eller midtsommers som sannsynligvis har inkludert betydelige smeltevannsmengder. Ellers er prinsipielt april - juni definert som vårflomperiode.

En undersøkelse av nedbørmengdene i disse tre månedene viser at ved nedbørstasjoner i de 14 aktuelle feltene faller normalt bare 13-18 % av årsnedbøren om våren. I kontrollgruppens felter faller fra 10 til 23 %. Det er derfor å vente at Sør- og Vestlandets elver viser regnflommer høst og vinter som kan måle seg med vårflommen i størrelse. Vårflommen er ellers dominerende over størstedelen av landet.

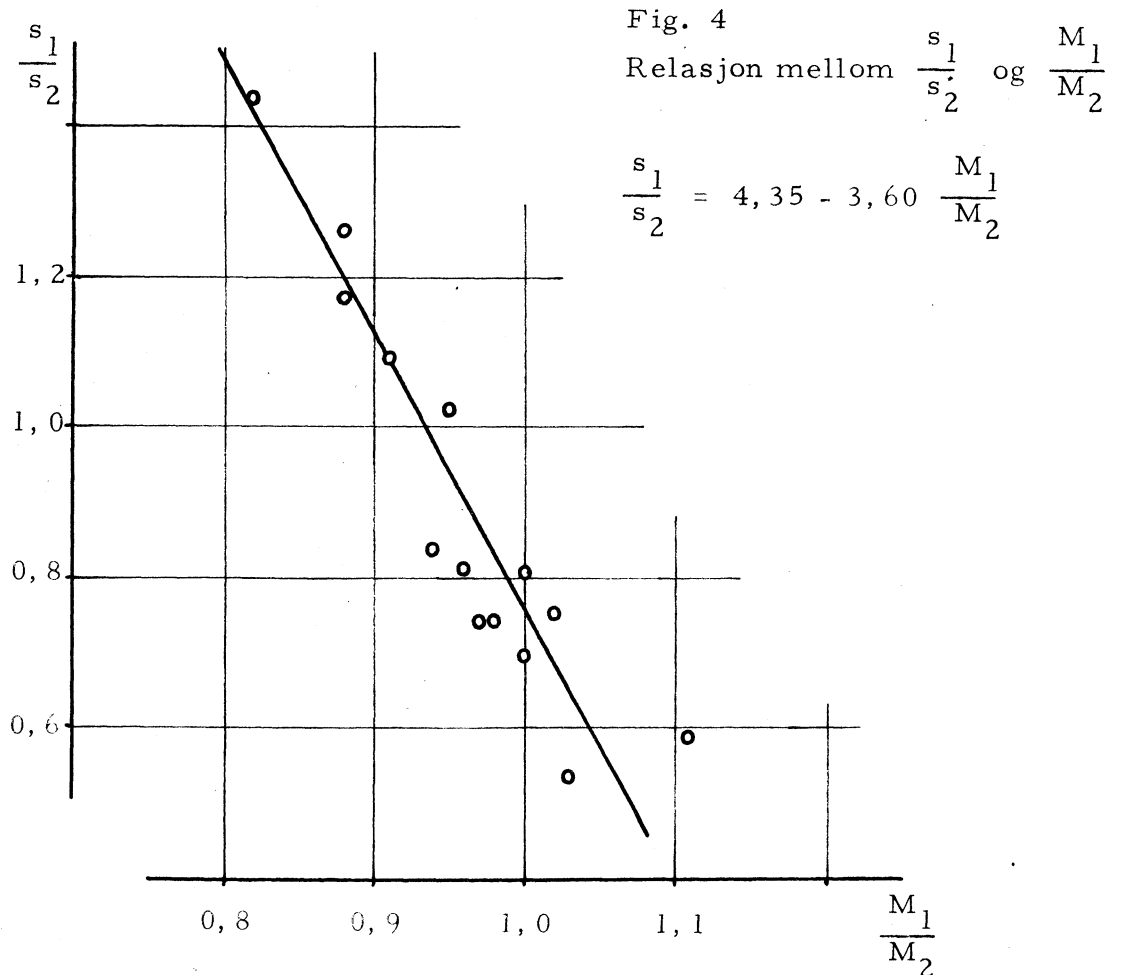
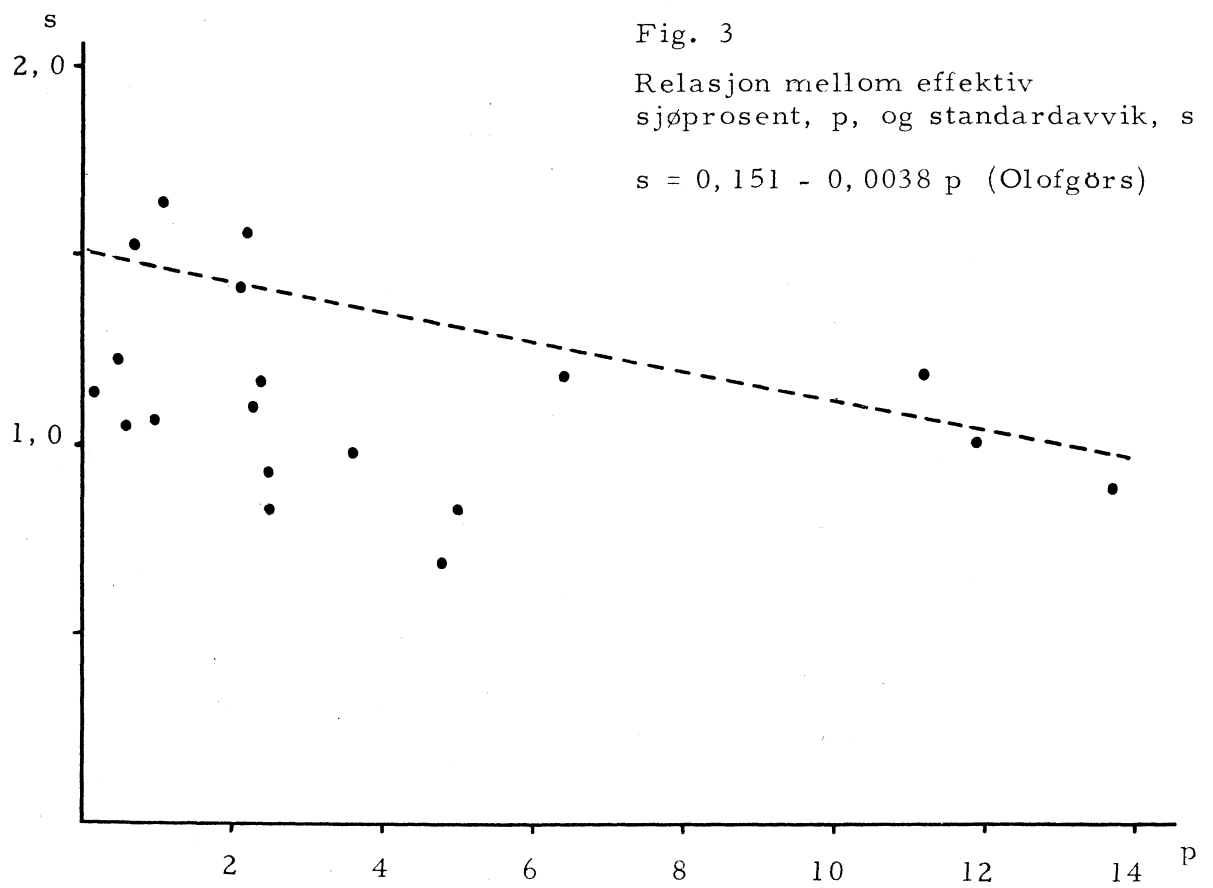
For hele observasjonsmaterialet er det beregnet middelveidier, standardavvik og skjevheter for logaritmene til henholdsvis vårflommer, høstflommer og årlige maksimalflommer. De beregnede verdiene er satt opp i tabell 1. Middelveidene, M , standardavvikene, s , og skjevhetene, g , er gitt indekser 1, 2 og 3 for de respektive flomtyper i samme rekkefølge som ovenfor.

Et nærliggende spørsmål å undersøke er sammenhengen mellom spredningen av flommene målt ved standardavviket og flomdempende parametre i nedbørfeltene. Som en forholdsvis enkel målbar størrelse er valgt feltenes sjøprosent. I stedet for total sjøprosent er det i Norge vanlig å benytte "effektiv sjøprosent", dvs. at sjøenes areal reduseres med forholdet mellom partielt og totalt feltareal. Fig. 3 viser hvordan denne relasjonen arter seg for årlig maksimalflom. Av figuren går det uten videre fram at effektiv sjøprosent alene ikke er tilstrekkelig til å karakterisere spredningen i flommenes fordeling. Olofgörs fant i sine studier av Norrlands-vassdrag en lineær relasjon mellom standardavvik og total sjø-

Tabell 1.

Middelværdi, M ; standardavvik, s og skjevhet, g ,
for logaritmene til vårfloem (1), høstfloem (2) og årlig maksimalfloem (3).

V_m	M_1	M_2	M_3	s_1	s_2	s_3	g_1	g_2	g_3
Flaksvatn	2,42	2,52	2,60	,183	,226	,153	,259	-,804	,220
Refsti	1,49	1,82	1,83	,192	,134	,117	-,374	-,623	-,510
Lundevatn	2,53	2,57	2,64	,119	,161	,110	,229	-,191	,268
Tveid	2,22	2,36	2,39	,139	,166	,141	-,538	,100	,394
Suldalset	2,59	2,52	2,64	,085	,162	,083	,096	-,085	-,302
Stordalsvatn	1,63	1,85	1,86	,145	,124	,119	-,603	,818	,885
Bulken	2,43	2,44	2,50	,097	,139	,107	-,145	-,084	-,314
Nese	2,20	2,31	2,33	,112	,110	,105	,055	,534	,519
Fossevatn	1,49	1,64	1,66	,127	,116	,093	-,830	-,102	,725
Vassbygdvatn	2,44	2,20	2,45	,125	,213	,123	,100	-,352	,014
Veitestrandvatn	1,96	1,96	2,04	,126	,157	,069	-1,173	-2,810	,261
Jølstervatn	1,92	1,97	2,03	,121	,164	,119	-1,096	-,315	-,280
Norddal	1,67	1,90	1,92	,153	,121	,098	-,183	-,922	-,166
Hornindalsvatn	1,75	1,71	1,80	,106	,141	,089	-,620	-,578	-,751
Kontrollgruppe:									
Femundsenden	1,84	1,50	1,84	,103	,199	,101	-,261	-,670	-,232
Totak	2,24	1,79	2,24	,083	,216	,083	,753	-,851	,753
Eikesdalsvatn	2,37	1,86	2,37	,156	,219	,156	-,273	-,192	-,273
Haga bru	2,79	2,62	2,84	,172	,239	,164	-,165	,268	,094
Nevernes	2,84	2,54	2,87	,101	,241	,114	,269	,911	,653



prosent i feltene, $s = 0,151 - 0,0034 p$, og denne linjen er trukket opp på figuren. Som det er rimelig å vente gir denne linjen høyere verdier for standardavviket for samme prosent enn punktmengden antyder. Også andre feltparametre enn sjøarealet må tas i betraktning når den naturlige reguleringsevnen skal vurderes. Av slike parametre nevnes feltets form, stigningsforhold, vegetasjon og jordbunn. En betydelig magasinering finner også sted i myrer og sumper der slike finnes. Flere av disse medvirkende faktorene er det vanskelig å finne tallmessige uttrykk for.

En kan så spørre seg hvordan spredningen varierer for de to flomtypene som er utskilt ved de sør-vestnorske vannmerkene. En overflattisk betraktning av standardavvikene for logaritmene kan tyde på at høstflommene er mest spredd idet s_2 overstiger både s_1 og s_3 ved de fleste stedene (tabell 1). For å studere dette nøyere er beregnet forholdene

$\frac{M_1}{M_2}$ og $\frac{s_1}{s_2}$, dvs. forholdene mellom middelverdiene av de to

flomvannføringenes logaritmer og mellom deres standardavvik. Sammenhørende verdier er stilt sammen i fig. 4 og de viser en klar lineær sammenheng. Linjens likning er ved enkel regresjonsregning funnet lik:

$$\frac{s_1}{s_2} = 4,35 - 3,60 \frac{M_1}{M_2}$$

Jo større den ene av flomtypene gjennomsnittlig er enn den andre, jo mindre er forholdet mellom spredningene av de samme. Derimot finnes det ingen sammenheng mellom de absolute verdiene for flomstørrelse og standardavvik. Et poeng som er verdt å legge merke til er at linjen ikke går gjennom $(1,0 ; 1,0)$. Om vår- og høstflommer ved et vannmerke har like store middelverdier er det høstflommene som viser den største spredningen. Dette viser at snømagasinet i nedbørfeltene har en utjevneende virkning på vår-avløpet fra år til år. Særlig er dette å vente i de vårtørre sørvestnorske nedbørfeltene, der snømagasinets tilskudd til vårflommen er en forholdsvis stor andel av totalavløpet. Dette særtrekket ved snøsmeltingsflommer understrekes ytterligere av hydrogrammets ("hydrograph"-ens) form under typiske flommer av de to typene, idet

flommer med vesentlig tilskudd av smeltevann som kjent er langt jevnere i sitt forløp enn de som følger etter kraftige regnskyll.

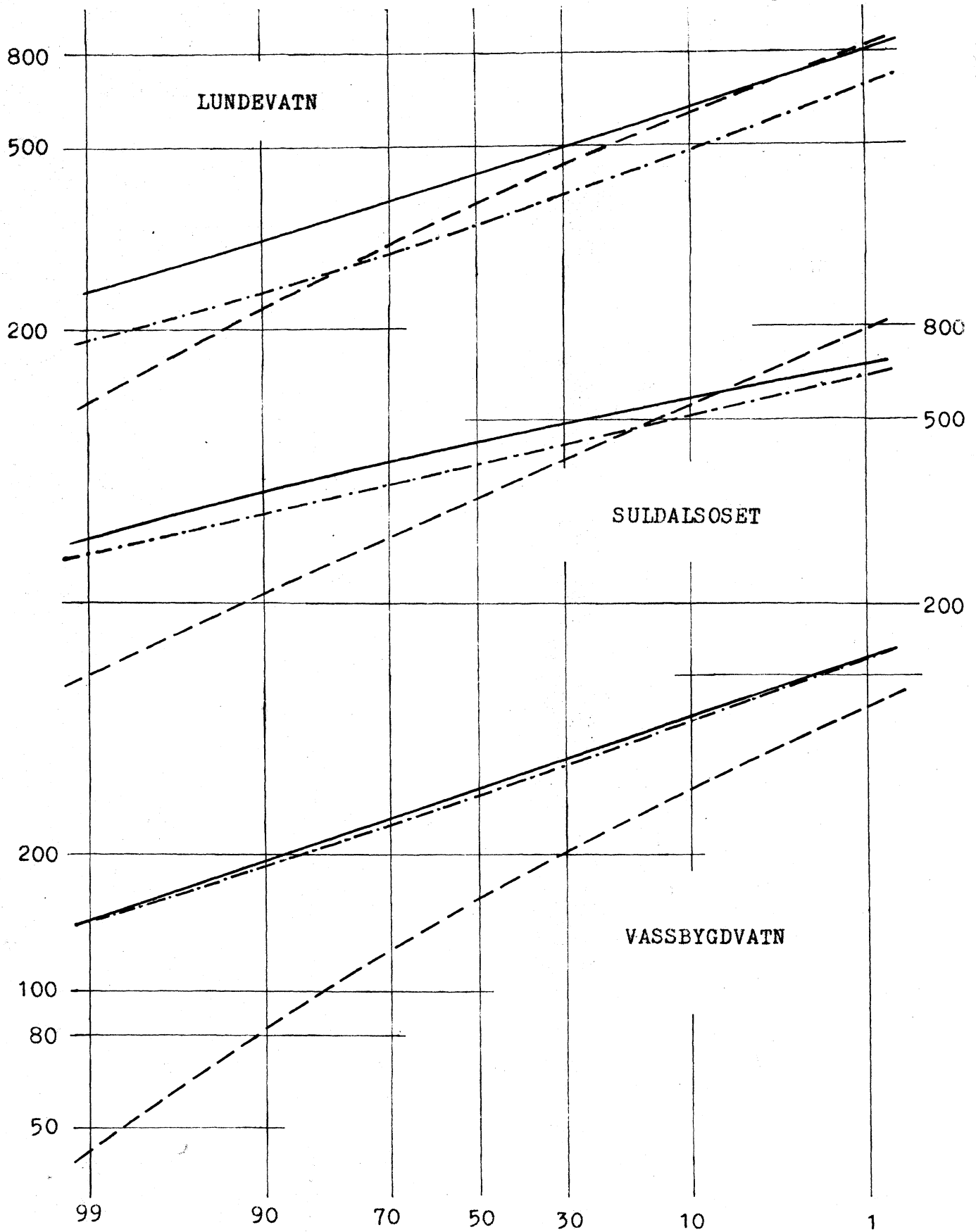
Den påviste lineære relasjon er på langt nær så klar i kontrollgruppen selv om tendensen er til stede. Årsaken er at 3 av de 5 vannmerkene i denne gruppen enkelte år praktisk talt mangler høstflom. I slike tilfeller svikter naturligvis grunnlaget for beregningen.

Skjevhetene, g , i flomverdiene ser ikke ut til å vise noen regelmessige regionale variasjoner. Fortegn skifter og absoluttverdier svinger mye over korte avstander. Blant vår- og høstflommene later det til å være en overvekt av negative skjevheter, idet 9 av 19 vannmerker viser både $g_1 < 0$ og $g_2 < 0$. Bare to av vannmerkene har både $g_1 > 0$ og $g_2 > 0$. Årlig maksimalflom er derimot overveiende positivt skjevt fordelt. Dersom er ser bort fra de tilfellene der høstflommer praktisk talt ikke forekommer utjevnes tallene noe, men fremdeles har majoriteten av vår- og høstflommer negativ skjevhet og årlig maksimalflom positiv. Materialet er for lite til at en kan trekke definitive slutninger.

I denne sammenheng bør nevnes at ifølge upubliserte undersøkelser av Otnes over flommene i Glomma avtar skjevheten etter regulering i vassdraget samtidig som spredningen ser ut til å øke noe.

Det er nevnt ovenfor at størrelsen av g kan tas som et mål på hvor god tilnærmelsen til den normale fordelingen er. Uten at det er matematisk bevist, antyder de lave g -verdiene (med få unntak) at forutsetningen er tilfredsstillt. Således er medianverdiene av g henholdsvis -0,18, -0,19 og +0,09.

En grafisk avbildning av den kumulative sannsynlighetsfordelingen av flommene er en god støtte og kontroll for beregningen, da de forskjellige vannføringenes avvik fra utjevningsskurven tydelig fremgår. Etter plotting får man ofte det inntrykk at flomvannføringene opptrer i grupper av punkter som ligger ordnet trinvis. En slik gruppering ville indikere at flomvannføringene ikke forekom uavhengig av hverandre, og det ville igjen rokke ved teorien om normalfordeling. Et forhold som imidlertid må vurderes før en slik slutning trekkes er avlesningsusikkerheten.



Sannsynlighetskurver for ulike flomtyper. Abscissen gir % sannsynlighet for at en flomvannføring skal overskrides.

- Årlig maksimalflom
- · - · - Vårflom
- - - - - Höstflom

Denne er spesielt undersøkt ved en enkel analyse av sifferfrekvensen i en av de foreliggende observasjonsrekkene. Det viser seg at ved dette vannmerket (Bulken) er det en klar tendens til favorisering av 0 og 5 i siste avlesningssiffer. Relativ hyppighet for flomobservasjonene ($n = 144$) er henholdsvis 37 og 16 %. De øvrige sifre har alle hyppigheter under 10 %, med særlig lave tall for 1 og 9. Det viste seg videre at samme favoriseringstendens var til stede, men mindre utpreget på lave vannstander, og i omlag like stor grad for tre forskjellige observatører. Dette uheldige forholdet er merkbart ved svært mange vannmerker og kan være en påminnelse om at man viser stor omhu ved plasseringen av målesteder. Da 0- og 5-favoriseringen særlig rammer flomobservasjonene p. g. a. urolig og raskt skiftende vannstand, er det klart at det kan introduseres en falsk gruppering i beregningsdataene. I de tilfellene hvor det er undersøkt, er en vesentlig del av den tilsynelatende grupperingen eliminert ved å ta hensyn til den store hyppighet av enkelte sifre. Noen stor unøyaktighet i beregningsresultatene trenger en ikke å vente da de nærmeste sifrene både over og under 0 og 5 synes å være like utsatt for å bli underrepresenterte.

Fig. 5 viser noen eksempler på beregnete sannsynlighetskurver for årlig maksimalflom og de to andre flomtypene. En svakhet ved metoden er straks åpenbar da det forekommer at sesongkurver med stort standardavvik overstiger årlig maksimum på det høyeste området. Dette er en følge av at usikkerheten i kurvenes beliggenhet øker raskt utover fra middelflommen. Man må derfor være svært varsom med ekstrapolering. En utvei er å beregne og eventuelt tegne inn spesifiserte usikkerhetsintervaller omkring kurvene, men dette øker arbeidsmengden atskillig.

Litteratur:

- Fork.: AIHS: Association Internationale d'Hydrologie Scientifique.
 Beard, L. R. (1962): Statistical methods in hydrology. U S Army Corps of Engineers, (62 s.).

- Marchetti, G. (1954): Etudes sur les plus fortes crues qui se sont produites sur les cours d'eau italiens jusqu'à la fin de 1953. AIHS Rome, Tome III (pp. 424-9).
- Mookerjee, D. (1951): Empirical formulae for the estimation of maximum flood runoff. AIHS Bruxelles, Tome IV (pp. 98-103).
- Olofgörs, G. (1951): Probability of high floods. AIHS Bruxelles, Tome IV (pp. 158-67).
- Schwartz, H. E. (1957): Determination of flood frequencies in a major drainage basin. AIHS Toronto, Tome III (pp. 174-87).
- Søgnen, R. (1942): Beregning av sjøers naturlige regulerings-
evne og flommer i norske vassdrag.
Oslo, (58 s.).

Serien "Rapporter fra Hydrologisk avdeling" utgis av Hydrologisk avdeling ved Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen.

Adresse: Postboks 5091, Oslo 3.

Hittil er utgitt:

Nr. 1. J. Otnes: Enkle metoder til bruk under feltarbeide. (6 s.)

Nr. 2. V. Karlén og G. Østrem: Snøens akkumulasjon på Ålfotbreen 1963 - 64. (13 s.)

Nr. 3. A. Tollan: Litt om maksimalflommer og statistisk behandling av forskjellige flomtyper. (13 s.)

Nr. 4. I. Hagen: Maskinell databehandling ved Hydrologisk avdeling, NVE. (9 s.)

Nr. 5. S. Roen: Redegjørelse for isundersøkelser i et spesielt eksperimentområde i Forra-Vassdraget og i kulde-laboratorium.

**NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT**



72019349