

Store flommer – beregning og varsling

Statshydrolog Kjell Hegge

Forfatteren, cand. real. med meteorologi som hovedfag, er statshydrolog ved Hydrologisk avdeling i NVE. Han har hatt ansvaret for det flomvarslingsystem som ble tatt i bruk for Glommavassdraget våren 1967.

Utdrag av seksjonsforedrag holdt under møte i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene 24. april i år, på Lillestrøm.

Det går som regel ikke mange år mellom hver gang en hører om storflom i et eller annet av våre større vassdrag. Dette skyldes ikke minst de svært varierende meteorologiske og hydrologiske forhold her i landet. Vi kjenner jo til at når det regner som verst på Vestlandet kan det være pent vær på Østlandet. Dette kan resultere i spesifikke avløp på over 3000 l/s.km² på Vestlandet mens elver på Østlandet samtidig har avløp på under 10 l/s.km². Dette illustrerer hvor komplisert det er å få kartlagt de forskjellige sider av hydrologien i vårt land.

En må kunne si at vannstandsobservasjonene i våre vassdrag startet relativt tidlig idet vi i dag har en rekke observasjonssteder hvor det er foretatt vannstandsakttagelser i 100 år og vel så det. De lengste observasjonsserier foreligger i våre større elver, og dette kommer kanskje i første rekke av at disse elvene fra gammel tid av ble benyttet som ferdselsårer, og det var av den grunn viktig

å ha oversikt over vannstandsforholdene til enhver tid.

Det hydrologiske observasjonsnettet er etter hvert blitt bedre og bedre utbygget med spesiell vekt på våre større vassdrag. Da kraftutbyggingen startet for alvor var det meget viktig å ha godt kjennskap til de hydrologiske forhold i utbyggingsområdene. Undersøkelsene ble spesielt intensivert i disse nedbørfeltene, og denne retningslinjen er også blitt fulgt frem til våre dager.

En kan derfor si at en hittil i grove trekk har kunnet legge frem et godt hydrologisk materiale for kraftutbyggingsområdene. Etter hvert er imidlertid utbyggingsprosjektene lønnsomhet blitt av stor viktighet, og det stilles derfor stadig større og større krav til mer detaljert kjennskap til de hydrologiske forhold. I den senere tiden har forurensningsproblemer blitt mer og mer viktige her i landet og dette krever igjen nye hydrologiske undersøkelser, og da i første rekke i våre mindre vassdrag nær tettbebygde områder. Disse undersøkelsene er først blitt satt i gang i de senere år, som regel på kommunal basis etter ønske eller pålegg fra Vassdragsvesenet i forbindelse med

større reguleringsaker. En må dessverre si at en foreløpig har svært dårlig kjennskap til de forskjellige hydrologiske faktorer i disse områdene, og en skal senere komme inn på hvilke problemer dette kan føre til.

Når det gjelder kjennskapet til flommer og beregning av påregnelig flomstørrelse, er det klart at en kan gi de beste opplysninger for våre større vassdrag hvor de lengste observasjonsrekker av vannstand og vannføring foreligger. For all byggevirk-somhet langs disse elvene så som dambygging, bro- og veibygging, regulering av nærliggende områder til bolig- og industrireisning, kan en som oftest gi gode opplysninger om flomvannføringer og flomvannstander. Til alle disse formål er man interessert i flomverdier som kan være til hjelp for dimensjoneringen av de forskjellige byggverk.

En kommer da inn på beregning av hva en gjerne kaller påregnelig maksimal flom. Det finnes en rekke metoder for beregning av en slik flomstørrelse, og en skal ganske kort nevne de viktigste av disse.

Den eldste beregningsmåten er antagelig å angi flomstørrelser ved hjelp av empiriske formler. I disse formlene inngår forskjellige feltparametre så som nedbørfelt, sjøareal, midlere spesifikt avløp osv. Et felles trekk ved de fleste empiriske formler er at de kan gjelde med god tilnær-melse i det området grunnmaterialet er hentet fra, men de er som regel mindre brukbare andre steder. Dette gjør at formler som er utledet i andre land, vanskelig kan tilpasses de hydrologiske forhold her i landet.

Tidligere avdelingsdirektør Søgner ved Hydrologisk avdeling har utarbeidet et slikt formelsett for norske vassdrag, og disse formlene har vært svært mye brukt her i landet for å angi påregnelig maksimal flom. Formlene bygger på et stort antall observasjoner rundt om i landet, men de har bl. a. den svakheten at en ikke får noen differensiering i beregnings-måten fra landsdel til landsdel. Det er vel også trolig at disse formlene inneholder for få flomskapende parametre (s , L og p). Dette kan føre til at de beregnede flomstørrelser vil få høyst forskjellig gjentakelsesintervall fra vassdrag til vassdrag, og en har små muligheter til å bedømme hvor lang denne perioden er i hvert enkelt tilfelle. Dette fenomenet at en ikke får noen opplysning om hyppigheten av den flom som blir beregnet, er for øvrig en ulempe ved alle empiriske formler.

Det hydrologiske observasjonsmaterialet er blitt betydelig utvidet siden Søgner utarbeidet sine formler, og det er nå meningen å få laget formelsett som passer bedre for hver enkelt landsdel. Denne utarbeidelsen kan i dag foretas på datamaskin, og en har da muligheten til lett å finne ut om formlene vil bli bedre ved å ta med flere feltparametre i ligningene. Observasjonsperiodene har dessuten blitt en god del lengre nå, og en håper dermed å få bedre kjennskap til hyppigheten av den flomstørrelsen som beregnes.

I de senere årene har en ofte benyttet sannsynlighetsregning til å bestemme påregnelige flomstørrelser. Fordelen ved denne metoden er at en

får bedre kjennskap til flomstørrelsens frekvens. En slik beregning går i korthet ut på å tilpasse de observerte flomverdier til en eller annen statistisk fordeling. Den fordeling som har vært mest brukt er log-normalfordelingen hvor logaritmene til f. eks. de årlige maksimalvannføringer skal følge den Gaussiske normalkurven. Denne forutsetningen har vist seg å holde stikk med god tilnærming i mange tilfeller. Det er spesielt en variant av denne metoden som har vært nyttet her i landet og

en skal gi et eksempel på flomberegning etter denne metoden. Fig. 1, 2.

Ved denne fremgangsmåten må en være klar over at den beregnede sannsynlighetskurve også har sin usikkerhet. Dette beror i første rekke på hvor lang observasjonsrekke som ligger til grunn for sannsynlighetskurven. Av neste figur fremgår dette meget tydelig. Fig. 3. En pleier derfor ofte å angi et konfidensintervall på begge sider av kurven som sier hvilken sannsynlighet det er for at en vilkårlig flom med en bestemt

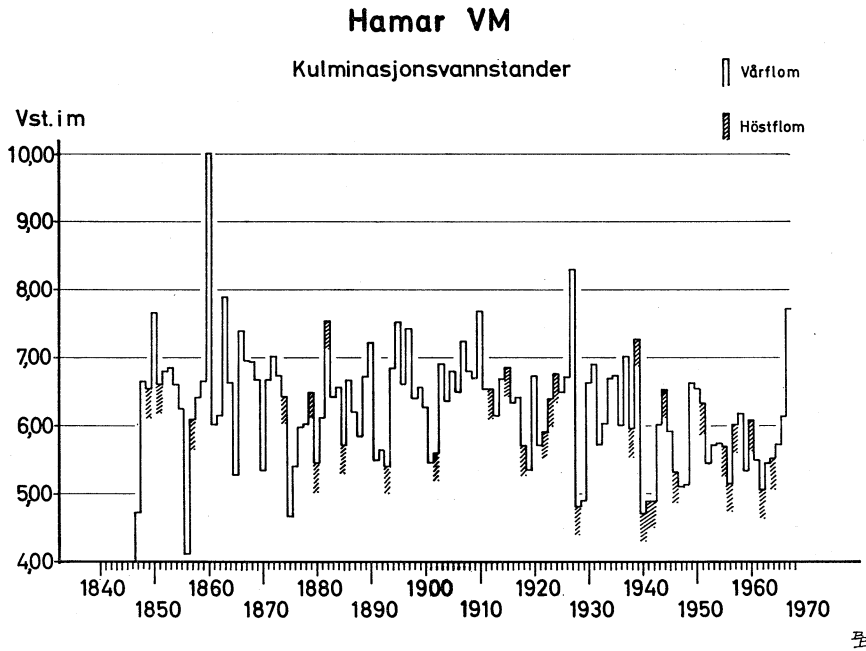


Fig. 1. I Mjøsa er det foretatt observasjoner av vannstanden i 120 år. Storfloppen i 1860 skiller seg klart ut som den største. Det er bare i 3 år flommen i Mjøsa har vært større enn i 1967.

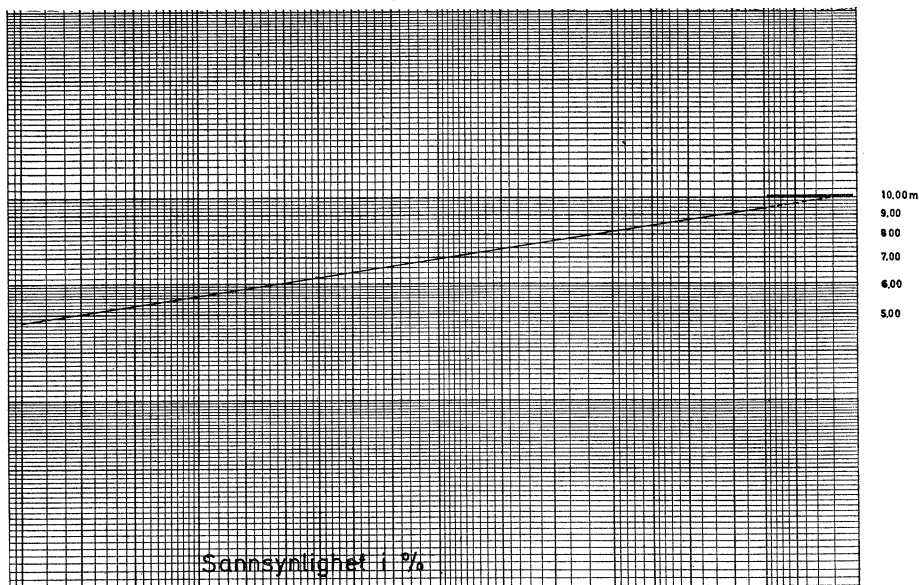


Fig. 2. Denne kurven, «sannsynlighetskurven», viser hvor stor sannsynlighet det er for at vannstanden i Mjøsa skal komme opp i de forskjellige nivåer. Midlere flomvannstand, 50 % hyppighet, vil være ca. 6,20 m, mens en sannsynlig 100-års flomvannstand vil være ca. 8,40 m.

observert frekvens skal ligge over eller under intervallgrensen. Vi ser her et eksempel på konfidensintervallet for maksimalvannstanden i Øyeren hvor observasjonsperioden er 100 år. For Hombleidal vm i Leira er dette intervallet betydelig større, og dette skyldes i første rekke at observasjonsrekken er bare 16 år. Fig. 4.

Disse eksempler illustrerer tydelig at sannsynlighetsmetoden i flombe-regning må brukes med stor forsiktighet fordi det vil være fristende å ekstrapolere en frekvenskurve mot store gjentakelsesintervall uten å

tenke nok på at beregningenes nøyaktighet raskt synker. Hvor det imidlertid er snakk om flomstørrelser med hyppighet på under ca. 50 år, vil en i mange tilfelle ha stor nytte av disse sannsynlighetskurver.

I mange land bl. a. USA benyttes ofte sannsynlig maksimal nedbør til beregning av maksimal flom. Dette er særlig aktuelt ved damanlegg hvor dambrudd kan forårsake tap av menneskeliv. Det stilles da spesielt strenge krav til de oppgitte flomstørrelser. En liknende metode kan neppe anvendes for våre damanlegg som

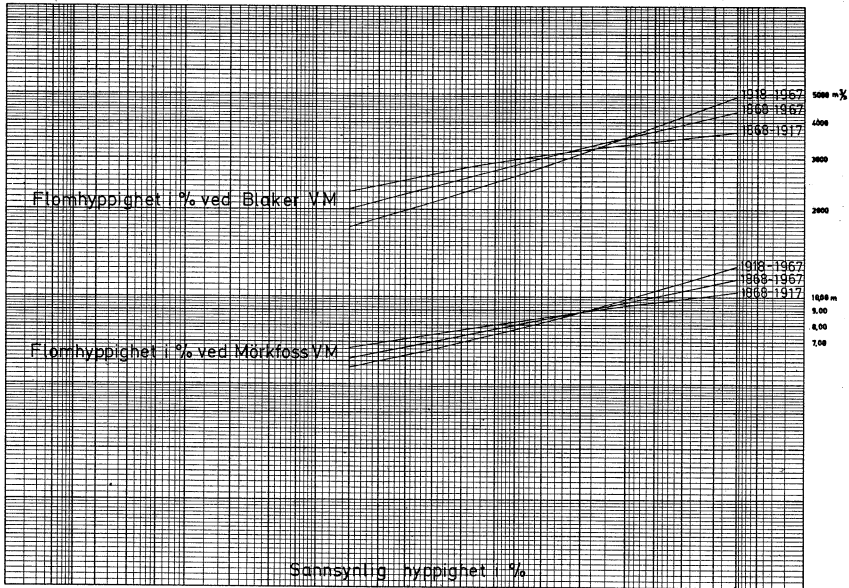


Fig. 3. Eksempler på sannsynlighetskurver basert på forskjellige observasjonsperioder. En ser f. eks. at 100-års flomvannstanden i Øyeren ved Mørkfoss varierer mellom ca. 9,50 m og ca. 10,50 m alt etter hvilken observasjonsperiode som benyttes i beregningene.

vesentlig ligger i fjelltraktene hvor nedbørintensiteten er lite kjent. I lavlandet og spesielt i våre byer og tettbygde områder kan en slik metode ofte benyttes, og det er kjent at mange anvender seg av en slik formel når det er snakk om dimensjonering av dreneringer og større kulverter. Disse formlene er avhengige av at en har gode opplysninger om nedbørintensiteten av forskjellig varighet og at en har muligheter til å bestemme avrenningsfaktoren eller avløpskoeffisienten nokså nøyaktig for hver del av nedbørfeltet.

Formler av denne typen gir heller ikke noen opplysninger om flomstørrelsens frekvens. Dette kan en imidlertid få en viss peiling på hvis det foreligger målinger av nedbørintensiteter i området over en lengre periode. En kan da beregne sannsynlighetskurver for nedbørintensiteten og har da muligheter til å bestemme frekvensen av de flomstørrelser en bestemmer seg for.

De metodene som hittil er nevnt gir alle uttrykk for maksimalvannføringen ved en fremtidig storflom. Denne størrelsen er som regel den

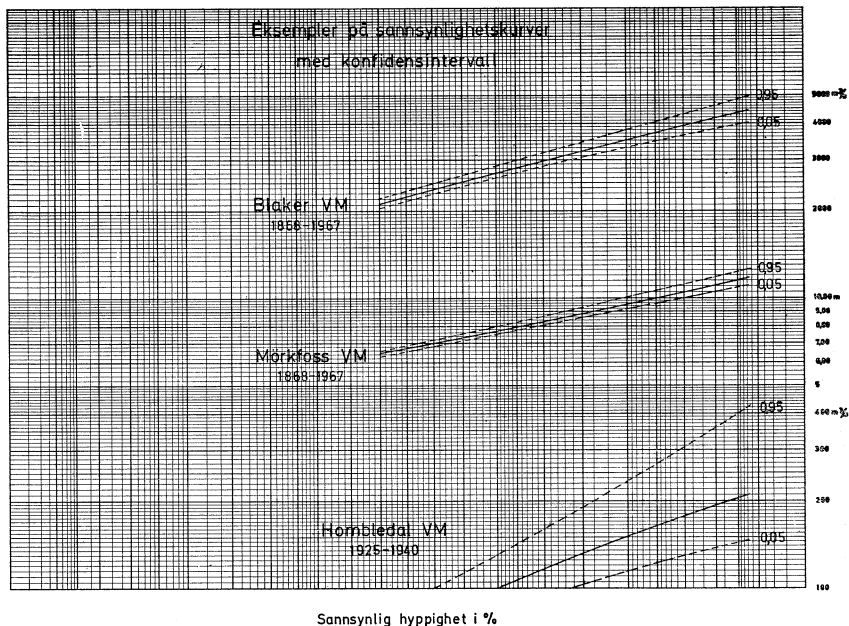


Fig. 4. De stiplede kurver viser konfidensintervallet for 90 % sannsynlighet. For Mørkfoss v. m. vil det fremgå at det er 90 % sannsynlig at 100-års flomvannstanden vil ligge i området 9,50 m—10,50 m.

viktigste, men det hender også en er interessert i å få et bilde av hele flombølgens form, dvs. kjenne hydrogrammet for vedkommende sted ved en tenkt maksimalflom. En måte å bestemme dette hydrogrammet på er ved hjelp av enhetshydrogrammet. Denne metoden forutsetter at nedbør med en bestemt varighet og med stor nok intensitet til å overskride jordens infiltrasjonskapasitet vil gi hydrogrammer med samme form og med avløpsordinatene proporsjonale med forskjellen mellom nedbør og infiltrasjon. Metoden passer best for mindre nedbørfelter hvor en har mulig-

heter til å få sikre opplysninger om arealnedbøren. Hos oss har denne metoden vært lite brukt, og dette skyldes nok i første rekke at vi har store vanskeligheter med å skaffe pålitelige opplysninger om nedbørforholdene i vårt kuperte land.

Jeg har nevnt forskjellige metoder ved flomberegning og resultatet er en vannføring som man i heldigste fall kjenner den omtrentlige hyppigheten av. Denne vannføringen blir så brukt som grunnlag for dimensjonering av dammer, bruer, tunneler, kulverter og drensledninger. Jo, sikrere og kraftigere man bygger, jo

dyrere blir vanligvis arbeidet. Hvis en dimensjoneringsfeil kan bety fare for menneskelig, må en velge en større sikkerhetsmargin. Hvor stor denne marginen skal være vil alltid være et åpent spørsmål, men mye vil være vunnet hvis en kunne komme frem til bestemte normer for angivelse av maksimalflom for byggeverk av høyst forskjellig levetid.

I mange av våre byer, industri- og boligsenter har vann- og kloakkproblemene blitt større og større for hvert år. Et av problemene skyldes i første rekke dårlig kjennskap til de hydrologiske forhold i disse områdene og i de nærmestliggende vassdrag. De offentlige hydrologiske undersøkelser her i landet forsøker å skaffe opplysninger om de hydrologiske forhold i alle deler av vårt land. Når det blir snakk om mer detaljerte undersøkelser har man ikke midler til å sette i gang med de observasjoner som er ønskelige. Det er viktig at de kommunale myndigheter er klar over dette, ikke minst der hvor vann- og kloakkproblemene nå begynner å melde seg. Hvis det ikke er satt i gang hydrologiske og meteorologiske undersøkelser i disse områdene, bør de lokale myndigheter ta initiativ til at slike målinger blir satt i gang. Om noen år kan det bli spørsmål om f. eks. nedbørintensiteter eller flomstørrelser i bekker og mindre elver i utbyggingsområdene og da vil det være av stor betydning, kanskje ikke minst økonomisk, at forskjellige byggetiltak i disse vassdragene blir dimensjonert riktig.

De to siste skadeflommene har tydelig vist hvor viktig det vil være

å ha godt kjenskap til flomnivåene når nye lavtliggende områder langs våre større vassdrag skal reguleres til bolig- og industriformål.

Det er klart at et grundig flomanalysearbeid på fornuftig hydrologiske og økonomiske prinsipper kan spare betydelige summer i det lange løp. Også på kortere sikt kan slike flomstudier være til stor nytte når en skadeflom er i anmarsj. Jeg skal nå gå over til å se litt på hva som kan gjøres for å gi flomvarslere for noen dager fremover.

Det finnes ikke noen fast organisert flomvarsling i noen av de skandinaviske land. Dette skyldes nok i første rekke at våre vassdrag er relativt små og dermed blir også skadene mindre. I alminnelighet er det derfor ikke noe stort behov for varsling av skadeflom. Denne delen av hydrologien er derfor tilsvarende lite undersøkt. I andre land bl. a. Amerika er det forsøkt forskjellige metoder i denne varslingen. Felles for de fleste er at de tar sitt utgangspunkt i en riktig vannføringskurve. Med disse kurver som grunnlag beregnes forflytningen av vannvolumer nedover i vassdraget under hensyntagen til magasinering og lokalt tilsig underveis.

En av metodene går ut på at flombølger nede i vassdraget bestemmes ved en enkel oppsummering av flomstørrelser lenger oppe i vassdraget. Dette er slik å forstå at vannføringen i en rekke bivassdrag langt oppe blir observert. Ved hjelp av tidligere flomobservasjoner har en funnet fram til hvor lang tid hver enkelt flombølge i bivassdragene bruker ned til vars-

lingsstedet, og dessuten hvor stor vannføringsøkning disse bølgene vil medføre ved varslingsstedet. Disse resulterende vassføringsøkninger blir på grunnlag av observasjonene fra bivassdragene satt opp i en tabell dag for dag. Den totale vannføring kan da meget enkelt summeres og en får uttrykk for flombølgens form.

Denne varslingsmetoden fordrer at hovedelven er svært regelmessig, dvs. at elvens magasinerings effekt er minst mulig og at den også er godt deffinert på forhånd. Hvis disse betingelsene er oppfylt, vil en kanskje kunne foreta flomvarsling etter et

slikt skjemasystem. Det er lite trolig at denne metoden vil egne seg her i landet fordi flere av våre elver har svært varierende magasinerings effekt under en flom, og dessuten foreligger det ikke nok detaljerte hydrologiske observasjoner i alle våre mindre bivassdrag.

Hvis en ikke skal ta hensyn til de meteorologiske langtidsvarsler, vil flomvarsling for flere døgn bare kunne nyttes i relativt lange vassdrag. En vil da på en eller annen måte være henvist til å beregne flombølgens forflytning nedover i vassdraget. Beregningen kan først begynne

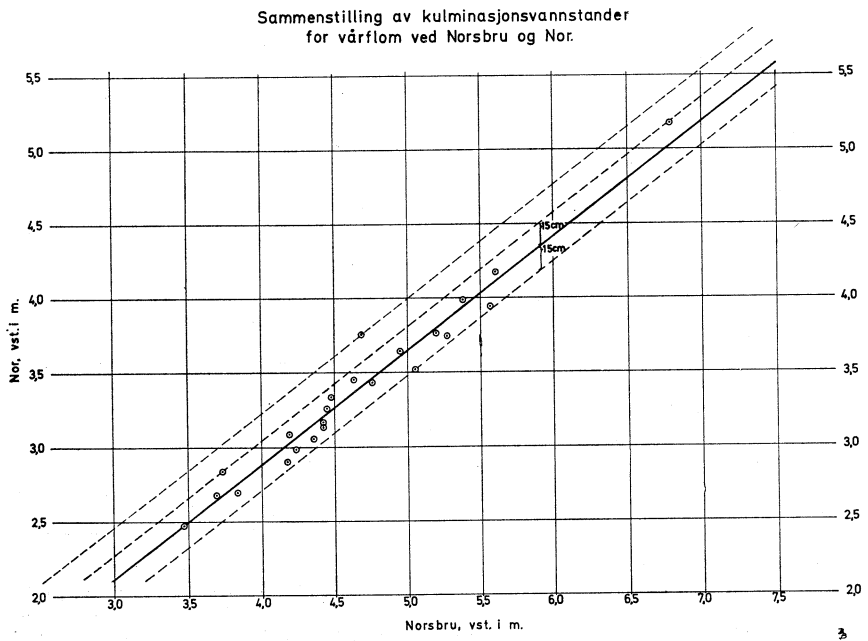


Fig. 5.

når flommen er under utvikling oppe i vassdraget, og prognosen for kulminasjonen nede i vassdraget kan ikke utarbeides før kulminasjonen har funnet sted lenger oppe. Det er da innlysende at prognosetiden blir lengre når beregningene bygger på observasjoner langt oppe i vassdraget, men samtidig avtar prognosenes nøyaktighet.

Etter flomskadene i Øyeren i 1966 ble det reist spørsmål i Stortinget om det ikke kunne etableres en flomvarslingstjeneste for disse områdene. Gjennom Industridepartementet fikk Hydrologisk avdeling en henvendelse om å utarbeide et forslag til flomvarslingstjeneste for Øyeren-området. For befolkningen her var det spesielt viktig, så tidlig som mulig, å få antydning av kulminasjonsvannstanden og tidspunktet for denne.

I begynnelsen var en litt i tvil om hvordan en skulle gripe dette problemet an. Vi hadde meget kort tid på oss til å legge frem et forslag og fant det mest riktig å granske vårt historiske observasjonsmateriale nærmere for å se hvordan tidligere stormflommer forplantet seg nedover i Glomma-vassdraget.

Ved enhver stormflom er det spesielt kulminasjonsvannstanden som er viktig å få antydning, og det var derfor hensiktsmessig å utarbeide en metode hvor man utelukkende arbeidet med vannstandsobservasjoner i vassdraget.

Ved en direkte sammenlikning av kulminasjonsvannstanden på forskjellige steder i Glomma kan en til en viss grad forutsi flomhøyden. På denne figuren (fig. 5) har vi sam-

menstillet flomtoppene ved Nor i Brandval med flomtoppene ved Kongsvinger (Nors bru). Dette er en elvestrekning på bare ca. 20 km, men en får likevel en spredning av flomtoppene på ca. ± 15 cm. Gjør man tilsvarende sammenstilling for flomtoppene ved Elverum og Skarnes vil spredningen bli hele ± 45 cm. Spredningen har forskjellige årsaker. De vesentlige er nok variasjonene i lokaltilsaget mellom målestedene og den muligheten at selve flomtoppen ikke alltid er blitt observert på hvert sted.

Fra Elverum til Kongsvinger tar flombølgen vanligvis ca. 1 døgn, og dette blir for kort varslingstid til at det kan ha noen særlig praktisk betydning. En må derfor gå til lengre elvestrekninger, f. eks. Elverum—Øyeren hvor flombølgen som regel bruker 5—7 døgn. Tiden kan også bli noe lengre for mindre flommer og hvis flommen i Mjøsa kommer noe uregelmessig i forhold til flommen i Glomma.

En sammenstilling av flomtoppene ved Elverum og i Øyeren alene vil gi et altfor usikkert resultat for varsling av maksimalvannstanden i Øyeren. Dertil har vannstanden i Mjøsa for stor betydning. Vorma bidrar som regel med ca. $\frac{1}{3}$ av flomtilsaget til Øyeren og det er klart at vannstanden i Mjøsa må komme inn i varslingsmetoden.

Vi skal nå se et eksempel på hvordan det er mulig å utarbeide en flomvarslingsmetode hvor en bare tar hensyn til observerte vannstander i vassdraget. I realiteten er det vassføringen, dvs. antall m^3/s på forskjellige steder som inngår i bereg-

ningene, men med visse forenklinger kan man få en brukbar prognoselikning ved bare å benytte observerte vannstander ved forskjellige vannmerker.

For de fleste vannmerker i våre vassdrag er det på grunnlag av en rekke målinger av vannføringen satt opp en kurve, vannføringskurven, som viser relasjonen mellom vannstand og vannføring. Denne kurven kan vanligvis fremstilles matematisk ved en funksjon av formen

$$q = k h^n \quad (1)$$

hvor q er vannføringen og h vannstanden, k og n er konstanter.

For økende verdier av h vil kurvens krumming avta og kurven blir tilnærmet rettilinjet når vannstanden når opp i de meget store flomhøydene.

For vannføringskurvens øvre del kan likningen da med god tilnærming skrives på formen

$$q = k h + b \quad (2)$$

Ved å erstatte den øvre delen av kurven med en rekke slike rette linjestykker, kan en oppnå den nøyaktighet, dvs. så god tilnærming til den virkelige kurven, som en måtte ønske.

Vannføringen et bestemt sted p_0 nede i en elv fremkommer som resultatet av tilstanden på en rekke steder p_1 p_2 p_3 . . . osv. lenger oppe i vassdraget på et noe tidligere tidspunkt.

Vannføringen q_0 ved p_0 kan da uttrykkes slik:

$$q_0 = q_1 + q_2 + q_3 + \dots \quad (3)$$

I områdene for de meget store flomvannføringer kan vannføringskurven i mindre intervall betraktes

som tilnærmet rettilinjet. Ved hjelp av likning (2) kan da likning (3) skrives på formen

$$q_0 = k_0 h_0 + b_0 = k_1 h_1 + b_1 + k_2 h_2 + b_2 + k_3 h_3 + b_3 + \dots$$

$$\text{eller } h_0 = a_0 + a_1 h_1 + a_2 h_2 + a_3 h_3 + \dots \quad (4)$$

En har her fått et enkelt uttrykk til beregning av vannstanden h_0 nede i vassdraget når vannstandsforholdene h_1 , h_2 , h_3 — — — er kjent på en rekke steder lengre oppe. Den tid flombølgen bruker fra f. eks. p_1 og ned til varslingsstedet p_0 bestemmer prognosetidens lengde. Prognosene vil selvsagt ha en viss feilmargin, blant annet på grunn av varierende nedbørmengde i det mellomliggende nedbørfelt i varslingstiden.

For å få et bilde av hvor store vannmengder som allerede befinner seg i vassdraget, altså flombølgens form, kan en i likningen inkludere observasjoner for flere dager ved ett eller flere punkter i vassdraget. Prognoselikningens konstanter bestemmes ved hjelp av det historiske observasjonsmaterialet som foreligger for vassdraget.

Til bestemmelse av likningen for prognosering av kulminasjonsvannstanden i Øyeren har en benyttet vannstandsobservasjoner i Glomma-vassdraget for perioden 1860—1966. Det ble satt opp i alt 22 kombinasjoner av vannstandene ved flere punktet i vassdraget, og det gjaldt å finne den kombinasjonen som ga den beste bestemmelsen av kulminasjonsvannstanden i Øyeren. For hver kombinasjon fikk en et likningssystem hvor antall likninger var identisk med antall felles observasjonsår for de anvendte vannmerker. Ved

bruk av multipel regresjonsanalyse ble regresjonslikningen for hvert likningssystem bestemt. De enkelte regresjonslikninger ga høyst varierende korrelasjonskoeffisienter. Det var ikke alltid at korrelasjonen ble bedre selv om likningssystemet inneholdt flere variable ledd, da flere variable i dette tilfelle kunne medføre kortere felles observasjonsperiode. En fikk således en mer usikker bestemmelse av regresjonslikningen, noe som ga seg utslag i dårlig korrelasjonskoeffisient.

For Øyeren fikk regresjonslikningen denne formen:

$$h_0 = a_0 + a_1 h_1 + a_2 h_2 + a_3 h_3 + a_4 h_4 + a_5 h_5 + a_6 h_6 \quad (5)$$

hvor de enkelte ledd har følgende betydning:

h_0 = kulminasjonsvannstanden i Øyeren (beregnet)

h_1 = kulminasjonsvannstanden ved Elverum

h_2 = vannstanden ved Elverum 2 døgn før kulminasjonen ved Elverum

h_3 = vannstanden ved Elverum 5 døgn før kulminasjonen ved Elverum

h_4 = vannstanden ved Hamar samme dag som kulminasjonen ved Elverum

h_5 = vannstanden ved Hamar 2 døgn før kulminasjonen ved Elverum

h_6 = vannstanden i Øyeren samme dag som kulminasjonen ved Elverum

$a_0, a_1, a_2, a_3 \dots a_6$ = konstanter

Som tidligere nevnt kan vannføringskurvens øvre del uttrykkes ved likningen

$$q = k h + b \quad (2)$$

Ved å erstatte øvre del av kurven med en rekke slike rette linjestykker, kan en oppnå den nøyaktighet en

ønsker. Hvis observasjonsmaterialet hadde vært tilstrekkelig stort, ville det da vært mulig å beregne regresjonslikningen for så små intervall av h_0 som ønskelig. Det er ikke tvil om at prognosene ville bli bedre hvis en f. eks. hadde 50 observasjonsår til bestemmelse av regresjonslikningen for kulminasjon mellom 7 og 8 meter i Øyeren, 50 år til bestemmelse av likningen for kulminasjon mellom 8 og 9 meter, osv.

Vårt observasjonsmateriale strekker seg ca. 100 år tilbake i tiden, men vi har likevel ikke funnet å kunne dele de årlige kulminasjonsvannstander i mer enn to intervall. Vi har satt nedre grense for øvre intervall til $h_0 = 6,50$ m i Øyeren. Det er særlig vannstander over denne høyden som har interesse fordi skadeflokker i Øyeren først inntreffer når vannstanden kommer over dette nivået. I nevnte intervall var det bare i 30 år at vannstanden i Øyeren kulminerte over 6,50 m. En fikk altså et likningssystem med 30 likninger til bestemmelse av regresjonslikningen.

Likningen fikk denne formen:

$$h_0 = \div 0,56 + 1,40 \times h_1 \div 0,27 \times h_2 \div 0,11 \times h_3 \div 0,42 \times h_4 + 0,39 \times h_5 + 0,82 \times h_6 \quad (6)$$

Anvendt på vårt historiske observasjonsmateriale ble h_0 bestemt med en nøyaktighet av ± 10 cm eller bedre i halvparten av årene.

Det kan nevnes at i 1966 var høyeste vannstand i Øyeren 9,08 m mens denne likningen ga 9,17 m som resultat. Vårflommen (1967) kom opp i 10,08 i Øyeren og likningen ga 10,20 m. Hvis f. eks. siste koeffisient ble forandret fra 0,82 til 0,81, ville

likningen gitt praktisk talt helt riktig resultat. Prognosen må i alle tilfelle sies å være meget god, og det er nesten usannsynlig at den kan bli så god når en tenker på de store variasjoner som kan inntreffe i lokaltilslaget mellom Øyeren, Elverum og Hamar i prognosetiden. Dette tilsi- get er nemlig ikke tatt med i regre- sjonslikningen. Hvis en i fremtiden kan oppnå tilsvarende resultater for varsling av kulminasjonsvannstanden i Øyeren, må en ha grunn til å være fornøyd.

Som antydte tidligere, var det for befolkningen også av interesse å få antydte når kulminasjonen ville inn- treffe.

Ved en statistisk beregning av den tiden flombølgen bruker fra Elverum til Øyeren, viste det seg at kulmina- sjonen i Øyeren i middel inntraff ca. 5 døgn senere enn ved Elverum. Det

kunne dermed gis en god 5 døgns prognose for kulminasjonsvannstan- den i Øyeren. Dette var til meget stor hjelp for de flomtruede områder. Maskiner og annet kostbart utstyr ble dermed reddet i god tid og ska- dene kunne også reduseres på andre måter.

Den anvendte regresjonslikning er bare utarbeidet for prognosering av selve kulminasjonsvannstanden i Øy- eren. En forsøkte også å benytte samme likningen til bestemmelse av flomstigningen og flomsynkningen.

Det viste seg da at ved jevn stig- ende eller fallende vannstand oppe i vassdraget (ved Elverum) passet likningen best for en 3-døgns prog- nose. Så snart det inntraff en mid- lertidig kulminasjon ved Elverum, fikk en den beste tilnærmelsen ved en noe lengre tid for prognosen (3—5 døgn).

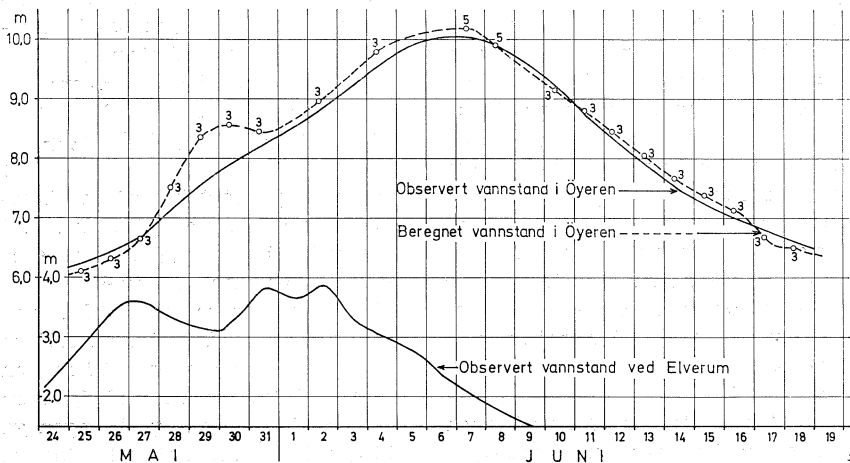


Fig. 6.

Ved nærmere undersøkelser av tidsforskyvning håper en å kunne forbedre varslene for kulminasjonstidspunktet, og da spesielt i de tilfeller hvor det inntreffer flere kulminasjoner oppe i vassdraget.

Under vårflommen 1967 ble denne likningen benyttet daglig ved utsendelse av flomvarsler for Øyeren med 3 til 5 døgns gyldighet. Resultatet av disse beregninger er vist på fig. 6. De beregnede vannstander passer stort sett bra med de observerte for hele flomperioden. Tallene ved kurven for beregnede vannstander antyder hvor mange døgn tidligere vannstanden ble varslet. De største feillene opptrer i de perioder som tilsvarende en foreløpig kulminasjon ved Elverum.

Den anvendte prognoselikning er utarbeidet på grunnlag av observasjoner fra tidligere storflommer i Glomma-vassdraget. Det er derfor meget viktig at dette observasjonsmaterialet er mest mulig entydig. En tenker da særlig på at elveprofilen er stabil ved de forskjellige vannmerker. Dernest er det viktig at de høyest observerte vannstander ved Elverum og i Øyeren virkelig er kulminasjonsverdiene. Dette har en ikke noen sikker garanti for. Hvis det ikke er gjort noen spesielle anmerkninger i observasjonene, må en gå ut fra at observasjonene er foretatt til de fastsatte tider på dagen og det er da tvilsomt om en akkurat har fått avlest kulminasjonsverdiene. Dette spiller ikke stor rolle for Øyeren hvor variasjonene i vannstanden går meget langsomt omkring kulminasjonen, men ved Elverum vil

dette ha en viss betydning.

I fremtiden kan en muligens regne med at hovedårsaken til feilen i flomvarslene vil komme av uregelmessigheter i lokaltilsigt mellom de anvendte observasjonssteder (Elverum, Mjøsa, Øyeren). En må gå ut fra at prognoselikningen uttrykker forholdene under noenlunde normale tilsligsforhold i lokalfeltet i prognosetiden. Så snart en får avvik fra dette, vil en få feil i den beregnede vannstand. Hvis en derfor kunne få noenlunde holdbare nedbørvarsler for 3—5 døgn, kan dette inkluderes i prognoselikningen og en ville antakelig se ytterligere forbedring av flomvarslene.

Hele opplegget av denne varslingsmetoden bygger på at flommen er under utvikling i den øvre delen av vassdraget. Det er først når kulminasjonen har inntruffet ved utgangspunktet for beregningen, i dette tilfellet Elverum, at kulminasjonshøyden nede i vassdraget kan bli varslet. Det er da innlysende at prognosetiden blir lengre når beregningen starter med observasjoner langt oppe i vassdraget, men samtidig vil prognosenes nøyaktighet avta. Denne metoden egner seg derfor best i lange vassdrag med små fall, dvs. at flombølgen bruker relativt lang tid fra utgangspunktet og ned til varslingsstedet.

Vi har imidlertid en lang rekke vassdrag med forholdsvis store fall hvor flombølgen bruker 1—2 døgn fra den øvre delen og ned til kysten. I disse vassdragene vil denne varslingsmetoden ha liten praktisk betydning idet prognosetiden blir så kort

at befolkningen ikke får særlig tid til å gardere seg mot flomvannets herjinger. Hvis en kunne få noenlunde sikre værvarsler for noen døgn fremover, og da spesielt for nedbørmengder, temperatur og fuktighet, ville denne flomvarslingsmetoden sannsynligvis også kunne nyttes i kortere vassdrag. Hovedvekten måtte da legges på de varslede meteorologiske elementer og at snømagasinet var kjent. På grunnlag av disse opplysninger måtte en så forsøke å beregne den sannsynlige kulminasjonsvannstanden oppe i vassdraget slik at man fikk utgangspunktet for selve prognoseberegningen, eller beregningene kunne gjøres direkte med ut-

gangspunkt i de varslede meteorologiske elementer og eksisterende snømagasin.

Det er klart at en på denne måten trekker inn langt flere usikkerhetsmomenter og en må regne med noe dårligere flomprognoser. Med det rikholdige meteorologiske og hydrologiske observasjonsmateriale som nå finnes, ville det være meget interessant å få undersøkt om en slik fremgangsmåte kunne gi brukbare resultater. Hvis undersøkelsene skulle vise seg å være positive, er det mulig en med tiden også kan gi kortere varsler for typiske regnflommer hvor værvarslenes pålitelighet vil være av avgjørende betydning.

Hydrologi for sivilingeniører

Grand Hotell, Kongsberg, 9.—12. desember 1968.

Kurset henvender seg til sivilingeniører som i sitt arbeide må treffe avgjørelser i saker av hydrologisk art.

Hensikten med kurset er å gi utøvende ingeniører en innføring i hydrologiske begreper og metoder.

Arrangør: Den Norske Ingeniørforening.

Påmeldingsfrist: 23. november 1968. Deltageravgift: Kr. 850,— for medlemmer av N.I.F., kr. 900,— for øvrige.

Kurssekretær: Frk. Karin Sørmo, telefon 41 71 35.