NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

ANALYSE AV FLOMVANNFØRING I ROALDKVAMÅNA 1. 8. 83

OPPDRAGSRAPPORT

4 - 84

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

OPPDRAGSRAPPORT 4-84

Rapportens tittel:	Dato: 30.8.1984
ANALYSE AV FLOMVANNFØRING I ROALDKVAMÅNA 1.8.83	Rapporten er: Begrenset
	Opplag: 50

Saksbehandler/Forfatter:	Ansvarlig:
Erik Ruud Kontoret for overflatehydrologi	E. Skofteland

Oppdragsgiver:

RØLDAL SULDAL KRAFT A/S OG STATENS VEGVESEN V/VEGSJEFEN I ROGALAND

Sammendrag:

Statens vegvesens bro nr. 2 over Roaldkvamåna i Suldal kommune i Rogaland havarerte den 1. aug. 1983 under en flomsituasjon. Statens vegvesen og RSK A/S er uenige om et eventuelt erstatningsansvar i denne forbindelse.

De foreliggende beregningene viser at RSK A/S ved sin manøvrering av lukene i Kvanndalsfoss magasin har øket flomvannføringen ved utløpet av Roaldkvamåna. Flomvannføringens maksimalverdi er beregnet til å ligge mellom 220 og 250 m^3/s, mens flommen fra naturlig felt ville vært ca. 50 m^3/s lavere. Årsaken til flomøkningen er etter alt å dømme feil ved nivåregistreringsutstyret i Kvanndalsfoss magasin.

Flommens midlere gjentaksintervall er beregnet til å være mellom 7 og 17 år. Flommen den 1. aug. 1983 synes følgelig kun å være den utløsende årsak til brohavariet.

ISBN 82-554-0396-5

FORORD

I de fleste reguleringstillatelser som er gitt i Norge heter det i manøvreringsreglementet at ". . . ved manøvreringen forøvrig has for øye at vassdragets tidligere flomvannføring ikke forøkes ... ." Med tidligere flomvannføring siktes normalt til naturlig flomvannføring.

En forutsetning for en noenlunde pålitelig rekonstruksjon av naturlig vannføring i et regulert vassdrag er et tilfredsstillende datagrunnlag. Sentralt står i denne forbindelse magasinobservasjoner, observasjoner av overføringer og vassføringskurver for naturlig utløp av magasinene. Dette siste punktet kom rundt 1970 inn som en nødvendig forutsetning for konsesjonsbehandling, hvilket har vist seg å være svært nyttig i en rekke saker.

Det kan være formålstjenlig for eiere av reguleringsanlegg nøye å vurdere hvorvidt det er mulig å foreta en flomrekonstruksjon på aktuelle steder i deres vassdrag med det nåværende data-grunnlag.

Oslo, september 1984

Bo Wingård

Bo Wingård
fagsjef

INNHOLD

		Side
1.	INNLEDNING	3
2.	BESKRIVELSE AV NEDSLAGSFELTET	3
2.1	Naturlig vassdrag	3
2.2	Regulert vassdrag	3
3.	HYDROMETRI	4
3.1	Hydrometriske stasjoner	4
3.2	Aktuelle observasjoner	4
3.3	Vurdering av observasjonenes kvalitet	5
3.3.1	Stasjon 1749-0 Kvanndal	5
3.3.2	Lukeobservasjoner i Kvanndalsfoss magasin	5
3.3.3	Vannstandsobservasjoner i Kvanndalsfoss magasin	6
3.3.4	Inntak Bleskestadåna	6
3.3.5	Magasinregistreringene i Isvatn, Holmevatn og Sandvatn	7
4.	BEREGNING AV REGULERT AVLØP	7
4.1	Produksjonssystemets "tilstand"	7
4.2	Feltinndeling og representative flomforløp	7
4.2.1	Komponent A	7
4.2.2	Komponent B	8
4.2.3	Komponent C	8
4.2.4	Komponent D	9
4.3	Regulert avløpsflom	10
5.	BEREGNING AV NATURLIG AVLØP	10
5.1	Feltinndeling og representative flomforløp	10
5.1.1	Komponent A'	10
5.1.2	Komponent B'	11
5.1.3	Komponent C'	11
5.2	Naturlig avløpsfom	11
6.	VURDERING AV BEREGNINGSRESULTATET	11
6.1	Hovedkonklusjon	11
6.2	Sannsynlig årsak til flomforværringen	13
6.3	Flommens gjentaksintervall	13
7.	SVAR PÅ SPØRSMÅL FRA VEGSJEFEN I ROGALAND	15
7.1	RSK's overordnede plikt til å dempe flom	15
7.2	Fyllingsgrad i magasinene	16
7.3	Endringshastigheten i vannstanden ved brua	16
8.	KONKLUSJON	16
	LITTERATUR	17
VEDLEGG 1:	MANØVRERINGSREGLEMENT (3. mai 1974)	18
VEDLEGG 2:	BEREGNING AV VANNFØRINGSKURVE FOR NATURLIG UTLØP SANDVATN OG HOLMEVATN	20
VEDLEGG 3:	REKONSTRUKSJON AV VANNSTANDER I KVANNDALSFOSS MAGASIN	21
FIGURER 1 - 21		23-43

1. INNLEDNING

Den 1. aug. 1983 havarerte Vegvesnets bru nr. 2 over Roaldkvamåna i Suldal kommune i Rogaland under en flomsituasjon. Røldal-Suldal kraft A/S (RSK) har reguleringsanlegg i vassdraget. Statens Vegvesen og RSK A/S er uenige om et eventuelt erstatningansvar i denne forbindelse.

I brev av 8.11.1983 er NVE-VHO engasjert til å foreta en analyse av opptrådt vannføring i Roaldkvamåna den 1.8.83, og å sammenholde denne med den naturlig vannføring som ville ha opptrådt dersom vassdraget hadde vært uregulert. Oppdraget har en totalkostnadsramme på ca. kr 20.000.-.

Det ble foretatt befaring i området den 2.12.1983.

Observasjoner og protokoller over de målinger og manøvreringer som er foretatt er stillet til disposisjon av RSK, som også har oversendt en rekke kart, kurver og konstruksjonstegninger som beskriver reguleringsanlegget.

Statens Vegvesen har i brev av 22.12.83 lagt frem sine spørsmål og synspunkter. Ulla-Førre-anleggene har omtalt de mer anleggstekniske forhold og forutsetninger i forbindelse med brobyggingen i brev av 10.1.84.

2. BESKRIVELSE AV NEDSLAGSFELTET

2.1 Naturlig vassdrag

Roaldkvamåna er en del av nedslagsfeltet til Suldalslågen. Elva renner inn i østenden av Suldalsvatn. Naturlig nedbørfelt er 262 km^2.

Ca. 4 km fra utløpet i Suldalsvatn deler Roaldkvamåna seg i to hovedgrener: Kvanndalsåna mot nordøst og Bleskestadåna mot sør øst. Over 900 m-nivået i Bleskestadåna ligger flere større sjøer (Holmevatn, Sandvatn, Langevatn og Litlevatn), mens det i Kvanndalsåna er kun en sjø, Isvann.

Kvanndalen har meget bratte dalsider, mens terrenget oppstrøms Sandvatn i Bleskestadåna er mer rolig. De høyeste toppene i feltet går opp i 1600 m, mens Suldalsvatn ligger på 68 m.o.h.

2.2 Regulert vassdrag

Omfanget av reguleringsinngrepene i Roaldkvamsåna er beskrevet i manøvreringsreglementet til kgl.res. av 3. mai 1974. Dette er gjengitt i vedlegg 1.

Produksjonssystemet med kraftstasjoner, magasiner, overførings-tuneller og bekkeinntak fremgår av figurene 1, 2 og 3.

Av spesiell interesse for denne analysen nevens:

a) Isvann (5 km^2) er overført fra Kvanndalsåna til Bleskestadåna.
b) Kvanndalstjønn (1.7 km^2) er ført ut av Roaldkvamsånas nedbørfelt.
c) Kvendabekken (3.5 km^2) og Tverråna (6.5 km^2) er ført inn på driftstunellen til Suldal II og vil drenere inn i Kvanndalsfoss-magasinet dersom Suldal II står.
d) Salttjønn (0.7 km^2) er overført til Sandvatn.
e) Øykhilderen I og II (1.4 km^2) er tatt inn på driftstunellen til Kvanndal kraftstasjon, og drenerer inn i Sandvatn når kraftstasjonen er ute av drift.
f) Havreåi (5.4 km^2), Blesketadåna (40 km^2), Liaskardbekken (0.8 km^2), Kvelvane (0.9 km^2) og felt "fordelingsbasseng Kvanndal" (0.5 km^2) overføres til magasin Kvanndalsfoss sammen med eventuelt avløp fra Kvanndal kraftstasjon.

3. HYDROMETRI

3.1 Hydrometriske stasjoner

Nedenstående tabell angir stasjonsnummer, navn, registreringsform og registreringshyppighet for det hydrometriske stasjonsnettet i Blekestadånas nedslagsfelt:

NUMMER	NAVN	REGISTRERINGSFORM	HYPPIGHET
1749-0	Kvanndal limn.	Skrivende limnigraf	Kontinuerlig
	Kvanndalsfoss mag.	Fjernoverføring	Daglig kl. 07 Ellers etter ønske
	Kvanndalsfoss luke	-"-	Ved manøvrering
2366-0	Sandvatn	-"-	Daglig kl. 07
2367-0	Isvatn	Beregning	" " "
2368-0	Holmevatn	Fjernoverføring	" " "
	Inntak Bleskestadåna	-"-	" " "

Stasjonens plassering fremgår av fig. 4.

3.2 Aktuelle observasjoner

Observasjonene for de numererte stasjonene lagres i Hydrologisk avdelings data-arkiv. Observasjonene fra alle stasjonene unntatt 1749-0 protokolleres av RSK - dels i egen protokoll, dels på et vannhusholdningsskjema. For Kvanndalsfoss magasin føres dessuten et eget skjema (nr. 14) som angir lukestilling og vannstand.

Kopier av RSK's protokoll, vannhusholdningsskjema og skjema 14 for den aktuelle periode er gjengitt i figurene 5 til 7.

Registreringen på stasjon 1749-0 er vist i fig. 8.

3.3 Vurdering av observasjonenes kvalitet

3.3.1 Stasjon 1749-0 Kvanndal

Analysens konklusjoner avhenger i stor grad av observasjonene ved denne stasjon. At verdiene her er korrekte er derfor vesentlig.

Fig. 8 viser at det aktuelle limnigrafarket ble innsatt 28.7.83 kl. 0900 og tatt ut 26.8.83 kl. 0900, og at registreringen har gått uten problemer av noe slag. Limnigrafen har "vendt" 1. aug. slik at den største registrerte vannstand denne dagen er 2.90 m i vannstandsmålingens lokale høydesystem. At en limnigraf "vender" betyr at den over et visst nivå (i dette tilfelle 2.50 m) tegner nedover papiret når vannstanden øker. Analogt tegner den oppover papiret for synk- ende vannstander inntil "vende"-nivået er nådd.

De lokale vannstandsnivåene omgjøres til vannføringer ved den vannføringskurven som er gjengitt i fig. 9. Denne viser også hvilke flygelmålinger kurven er basert på. Det fremgår at høyeste måling er foretatt på vannstand 2.54 m med resultat: 40 m^3/s. En ekstrapolering til vst. 2.90 må på denne bakgrunn sies å være meget sikker.

Observasjonene ved stasjon 1749-0 synes på denne bakgrunn å representere et pålitelig utgangspunkt for vurdering av flommen den 1. aug.

Stasjonens telefonsvarer var ute av drift i den aktuelle perioden p.g.a. kabelbrudd.

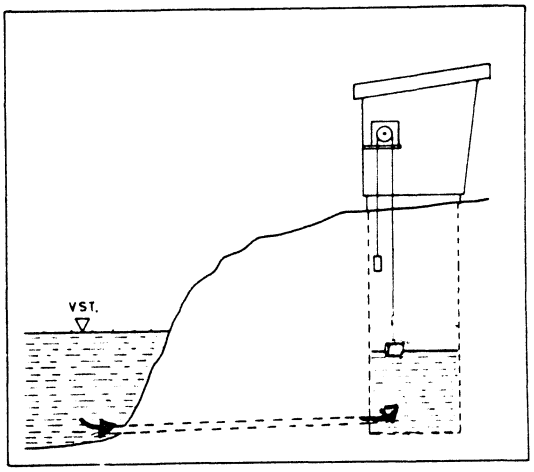
3.3.2 Lukeobservasjoner i Kvanndalsfoss magasin

Luken i Kvanndalsfoss dam er 5 m bred og kan reguleres mellom kote 619.00 og 623.00. (Tegn. nr. IF 57069C). Kurvene i fig. 10 angir vannføringen ut av luken som funksjon av vannstand i magasinet og lukeåpning. Kurvene er kontrollert ut fra formelverket i Forskrifter for dammer (1981). Avvikene var ubetydelige. Fig. 10 er derfor lagt til grunn for beregningen av avløpet fra magasin Kvanndalsfoss.

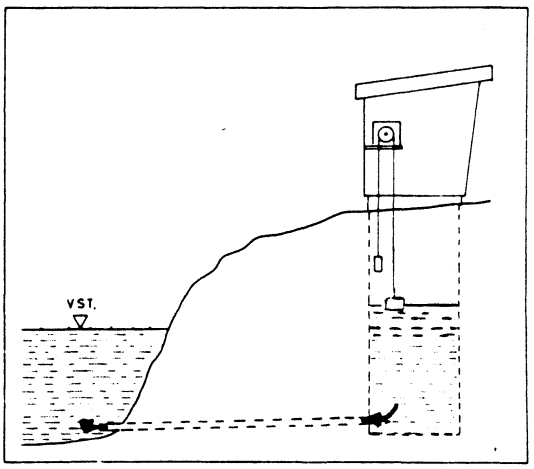
Lukeåpning er observert og protokollert av RSK. Det er ikke gitt opplysninger som skulle tilsi at det er noe galt med disse observasjonene. Dette er av vesentlig betydning for analysens konklusjon.

3.3.3 Vannstandsobservasjoner i Kvanndalsfoss magasin

Vannstandsvariasjonen, slik den er observert av RSK, fremgår av fig. 7. RSK opplyser imidlertid at de i etterstid fant at kommunikasjonsrøret mellom nivå for vannstandsregistrering og nivå magasin var delvis tett. Dette medfører at en bestemt økning i magasinvannstanden i løpet av en viss tid vil bli registrert som en mindre økning på registreringsinstrumentet. Kanskje ble heller ikke den maksimale vannstand registrert. Tilsvarende vil vannstanden på registreringsutstyret "henge etter" på synkende vannstander. Forholdet er illustrert nedenfor.



Stigende vannstand



Synkende vannstand

I vedlegg 3 er vannstandene i magasin Kvanndalsfoss forsøkt rekonstruert.

3.3.4 Inntak Bleskestadåna

Vannstanden på dette punktet lå utenfor instrumentets måleområde mens flommen var på det høyeste. Ifølge RSK vil målingen dessuten bli svært unøyaktig på høyere vannføringer på grunn av oppstuvings- effekter som følge av stor hastighet på vannet. Oppstuvingen fører til at det registreres for høye vannføringer dersom den beregnede overløpskurven legges til grunn.

På denne bakgrunn er ikke registreringene i inntak Bleskestadåna benyttet direkte i beregningene.

Med tanke på kun en sammenligning mellom flommen den 1. aug. i naturlig og regulert vassdrag er det heller ikke vesentlig at man finner en korrekt absoluttverdi for avløpet fra Bleskestadåna inntak. Feltet vil bidra med det samme vannføringsforløpet både i regulert og uregulert tilstand fordi inntaket var stengt.

3.3.5 Magasinregistreringene i Isvatn, Holmevatn og Sandvatn

Vannstanden i Isvann beregnes daglig med utgangspunkt i sporadiske manuelle observasjoner. En undersøkelse av dammen like etter 1. aug. 1983 viste at det ikke hadde vært overløp. Dette var i overensstemmelse med beregningene.

Observasjonene fra disse magasinene er benyttet slik de er gjengitt på "vannhusholdningsskjemaet" (fig. 6).

4. BEREGNING AV REGULERT AVLØP

4.1 Produksjonssystemet "tilstand"

For å kunne beregne avløpet ved utløpet av Roaldkvamåna i den aktu- elle perioden må man kjenne "tilstanden" i produksjonssystemet. Av "vannhusholdningsskjemaet" (fig. 6) fremgår:

a) Det var ikke avløp fra Isvatn (5 km^2)
b) Det var ikke avløp fra Holmevatn (52 km^2)
c) Det var overløp fra Sandvatn

Protokollen (fig. 5) viser at det er tappet vann fra magasin Kvanndalsfoss.

Kjørerapport nr. 20/83 viser at Kvanndal kr.st. var ute av drift, mens Suldal II produserte 78 MW (=15 m^3/s) frem til kl. 2230 den 1. aug. Da ble produksjonen redusert til 54 MW (=10 m^3/s) frem til kl. 0710 den 2. aug., for deretter igjen å øke til 78 MW.

RSK opplyser dessuten at alle bekkeinntak sto åpne med unntak av inntak Bleskestadåna.

4.2 Feltinndeling av representative flomforløp

Ut fra denne "tilstands"-beskrivelsen er det hensiktsmessig å dele Roaldkvamånas nedslagsfelt i fire komponenter (fig. 11). Avløpet fra hver komponent vil bli beskrevet i det følgende:

4.2.1 Komponent A

Denne komponenten utgjøres av den delen av reguleringssystemet som i den foreliggende "tilstand" ikke gir noe tilskudd til flommen. Delfeltene er:

Isvatn	5 km^2
Holmevatn	52 "
Kvanndalstjønn	1.7 "
Sum A	58.7 km^2

Q_A=0 i hele det aktuelle tidsrom.

4.2.2 Komponent B

Denne komponenten utgjøres av feltene som gir overløp over Sandvatn dam. Delfeltene er:

Sandvatn	41.5 km^2
Salttjønn	0.7 "
Øykhilderen I	0.4 "
Øykhilderen II	1.0 "
Sum B	43.6 km^2

Avløpet fra disse 43.6 km^2-ene kan i grove trekk beskrives ut fra vannstandsregistreringene i Sandvatn med tilhørende avløpskurve for avløpet. Det foreligger imidlertid kun en observert vannstand i døgnet. Dette beskriver avrenningen fra feltet i for liten detalj for denne analysen. Av denne grunn, og av hensyn til sammenligningen med naturlig vassdrag, er det konstruert en tilsigsserie til Sandvatn som tilnærmet gir de observerte vannstander i magasinet etter routing.

Forsøksvis ble flomforløpet ved st. 1749-0 Kvanndal arealskalert og routet gjennom magasinet. Forskjell i beregnet og observert vannstand ble på mellom 2 og 4 cm hvilket tilsvarer en forskjell på ca. 2 m^3/s til 4 m^3/s. Unntatt verdien kl. 0700 den 1.8 gir observasjonene lavere verdier enn beregningen. Dette tyder på at økningen i vannføring som ble registrert ved stasjon 1749-0 fra ca. kl. 1200 den 31.7 ikke var så markert i Sandvatn-feltet.

Etter korreksjon for dette og en nødvendig tidsforskyvning på 4 timer ble en modifisert tilløpsflom routet gjennom Sandvatn magasin. Avviket mellom observert og bergnet vannstand ble nå kun 1 cm den 1. og 2. august . Denne modifiserte tilløpsflommen er lagt til grunn for beregning av avløpsflommen fra Sandvatn-feltet både i regulert og naturlig vassdrag. Avløpsflommen i regulert tilstand fremkommer etter routing gjennom magasin Sandvatn som har følgende karakteristika:

Netto overløpslengde: 125 m (tegn.nr.IF 52094)
Vannføringskurve for overløpet: (tegn.nr.IF 52094)

$$Q=223.97 \times H^{1.4992}$$

Magasinkurve som på tegning (IF 43883).

Avløpsflommens forløp er vist i fig. 12 (kurve B). Maksimalt avløp inntrer kl. 0400 den 2.8 og er på ca. 28 m^3/s.

4.2.3 Komponent C

Denne komponenten utgjøres av den del av nedslagsfeltet til Roaldkvamåna som renner til utløpet i Suldalsvatn uten å bli påvirket av reguleringsanlegg. Delfeltene er:

Bleskestadåna inntak	40.0 km^2
Restfelt Roaldkvamåna	33.9 "
Sum C	73.9 km^2

Avløpet fra disse delfeltene er beskrevet ved en arealskalering av avløpet ved st. 1749-0:

$$Q_C = 1.1638 \times Q_{1749-0}$$

og vist på fig. 12 (kurve C).

4.2.4 Komponent D

Denne komponenten omfatter delfelt som gir tilsig til Kvanndalsfoss magasin. Delfeltene er:

Kvendabekken	3.5 km^3
Tverråna	6.4 "
Kvenna	71.3 "
Kvelvane	0.9 "
Havreåi	5.4 "
Ford.bas.Kvanndal	0.5 "
Liaskardbekken	0.8 "
Sum D	88.9 km^2

Avløpet fra disse delfeltene beskrives ved protokollerete lukestillinger i magasin Kvanndalsfoss kombinert med observerte magsinvannstander og lukas kalibreringskurve. Delfeltene bidrar også med tilløp til Suldal II. Produksjonsvannet kommer imidlertid ikke inn i Roaldkvamåna og skal således ikke tas med i denne elvas regulerte avløp.

I kap. 3.3.3 er det beskrevet at magasinvannstandsobservasjonene i Kvanndalsfoss antagelig ikke er korrekte. I vedlegg 3 er derfor vannstandene forsøkt rekonstruert slik at lukas kalibreringskurve kan benyttes med større sikkerhet. Beregningen ga usikkert resultat. Det vil derved også være knyttet en viss usikkerhet til avløpet gjennom luka i Kvanndalsfoss. Forholdet antas ikke å kunne medføre feil som er vesentlig større enn 5 m^3/s.

Usikkerhet i vannstandsobservasjonene vil også måtte føre til spørsmål om hvorvidt vannstanden i Kvanndalsfoss har vært større enn 631.00 m.o.h. - d.v.s. hvorvidt det har vært overløp i tillegg til lukeavløp fra magasinet. Beregningen i vedlegg 3 gir ikke sikre holdepunkter for å vurdere dette. Ifølge RSK's observasjoner den 2.8 har vannet såvidt rent over endel av overløpet, hvilket tyder på at overløp ikke har bidratt med noen betydelig vannføring. Uansett ville antagelig ikke et overløp resultert i en økt avløpstopp fra magasinet idet et eventuelt overløp etter alt å dømme ville ha intruffet før kl. 2000 den 1.8.

Sannsynlig avløp fra komponent D er gjengitt på fig. 12 (kurve D). Maksimalt avløp er på 135 m^3/s og inntreffer litt før kl. 2100 den 1. aug.

4.3 Regulert avløpsflom

Regulert avløpsflom ved utløpet av Roaldkvamåna i Suldalsvatn kan beskrives ved summen av avløpskomponentene i kap. 4.2. Det resulterende hydrogram er vist i fig. 12. Maksimalflommen inntreffer ca. kl. 2100 den 1.8 og har en vedi på 215 m^3/s.

Ved summeringen av komponentene er det ikke tatt hensyn til transporttider over elvestrekninger eller mulige modifiseringer av flombølgene. Strekningen fra Kvanndalsfossmagasinet til Suldalsvatn er ca. 8 km. Dersom man antar at hastigheten til flombølgen fra dette stedet er 2 m/s vil strekningen være tilbakelagt på ca. en time.

Avløpet fra komponent C er i denne perioden redusert med 5 m^3/s, mens komponent B er økt med 1.5 m^3/s. Samlet blir altså flomtoppen redusert med 3.5 m^3/s eller 1.6%. Dette forutsetter et riktig tidsforløp i komponent B og C. Disse komponentenes tidsforløp er imidlertid vesentlig mer utjevnet enn komponent D, og deres tidsfordeling blir derved mindre vesentlig for den samlede avrenningen til Suldalsvatn.

Det er lite sannsynlig at den flommen som ble sluppet gjennom luken i magasin Kvanndalsfoss ble vesentlig dempet på strekningen ned til Suldalsvatn. Elva har et fall på ca. 560 m på de 8 kilometrene og har liten selvregulerende evne.

5. BEREGNING AV NATURLIG AVLØP

5.1 Feltinndeling og representative flomforløp

For beregning av avløpet fra Bleskestadåna i naturlig tilstand synes det hensiktsmessig å dele feltet i tre (fig. 13). Avløpet fra hver av disse tre komponentene vil bli beskrevet nærmere:

5.1.1 Komponent A^1

Bidraget fra Holmevatn-feltet på 52 km^2 er beregnet separat på grunn av feltets høye sjøprosent og derved store selvregulerende evne. Avløpsflommen fra vannet kan bestemmes dersom man kjenner tilløpsflommen, sjøens volumkurve og vannføringskurven for naturlig utløp. Vannføringskurven er estimert i vedlegg 2 og volumkurven er hentet fra tegning IF 55458. Tilløpet er beregnet med utgangspunkt i registreringene ved st. 1749-0 Kvanndal og tilpasset volum- og tidsfordelingsmessig slik at det stemmer tilnærmet med magasinobservasjonene i Holmevatn.

Resultatet av å route denne tilpassede tilløpsflommen gjennom natur- lig sjø Holmevatn er gjengitt i fig. 14. Maksimal avløpsflom er på ca. 12 m^3/s og inntreffer først midt på dagen en 2.8.

5.1.2 Komponent B^1

Avløpet fra komponent B^1 representerer avrenningen fra Sandvatn i naturlig tilstand. Tilsiget til Sandvatn består av lokaltilsig fra 41.5 km^2 pluss avløpet fra Holmevatn slik dette er beregnet under komponent A^1. Som representativ tilløpsflom for lokalfeltet er benyttet en areal-skalert tilløpsflom med samme forløp som i avsnitt 4.2 under komponent B. Ved å summere lokaltilsigets tilløpsflom og avløpsflommen fra Holmevatn, og å route denne gjennom Sandvatn fås avløpsflommen fra Sandvatn. Ved routingen er benyttet en vannfør- ingskurve for naturlig utløp i Sandvatn som er utviklet i vedlegg 2, og en volumkurve som er hentet fra tegning IF 43883. Den resul- terende avløpsflommen er gjengitt i fig. 15 (kurve B'). Maksimal vannføring er på ca. 30 m^3/s og inntreffer ca. kl. 1200 den 2.8.

5.1.3 Komponent C^1

Denne komponenten utgjøres av de øvrige delfeltene som naturlig drenerer til Roaldkvamåna. Samlet representerer de et areal på 168.1 km^2. Avløpsflommen fra dette feltet beskrives ved en areal- skalering av registrert avløp ved st. 1749-0. Denne er vist i fig. 15 (kurve C') der det fremgår at maksimalflommen inntreffer ca. kl. 2000 den 1.8 og at den har en spissverdi på 140 m^3/s.

5.2 Naturlig avløpsflom

Naturlig avløpsflom for Roaldkvamåna ved utløpet i Suldalsvatn kan nå bestemmes som summen av avløpet fra komponent B^1 og C^1. Den resulterende flommen er gjengitt på fig. 15 som viser en maksimal- verdi på 160 m^3/s ca. kl. 2000 den 1.8.

6. VURDERING AV BEREGNINGSRESULTATET

6.1 Hovedkonklusjon

Fra kap. 4.3 og 5.2 fremgår at regulert og naturlig avløpsflom ved utløp av Roaldkvamåna den 1.8.83 er beregnet til henholdsvis 215 m^3/s og 160 m^3/s. I den aktuelle situasjon har altså be- regningene vist at reguleringsanlegget økte flommens spissvannføring med 55 m^3/s eller ca. 35%.

Fra fig. 16 fremgår dessuten at den regulerte avløpsflommen er be- regnet høyere enn den naturlige i perioden fra kl. 2030 den 1.8 til 0515 den 2.8.

Som det vil ha fremgått av de foregående kapitler og av vedleggene er beregningene ikke bare basert på en rekke observasjoner av for- skjellig kvalitet, men også på endel antagelser og tilnærminger fordi målinger har manglet, eller er vurdert å være for upålitelige. Direkteobservasjonenes kvalitet er gjennomgått i kap. 3.3. Her vil noen av de viktigste antagelsene bli vurdert nærmere:

Antagelsen om at st. 1749-0 etter arealskalering gir avløpet fra de to vestligste feltene (Bleskestadåna, 40 km^2 og Roaldkvamånas restfelt, 33.9 km^2) i den aktuelle perioden er vesentlig for hvor riktig det estimerte totalavløpet er i absoluttverdi. I brev av 19.8.83 antar RSK at vannføringen over inntaket i Bleskestadåna var ca. 85 m^3/s. Dette inkluderer også overløp fra Sandvatn på ca. 20 m^3/s, hvilket gir ca. 65 m^3/s fra Bleskestadånas felt nedenfor Sandvatn. Arealskalering av 1749-0 gir ca. 30 m^3/s. I det samme brevet antar RSK at maksimalavløpet fra Roaldkvamånas restfelt er ca. 35 m^3/s, mens arealskalering av st. 1749-0 gir ca. 25 m^3/s. RSK's anslag gir altså ca. 45 m^3/s mer vann enn en arealskalering av st. 1749-0. Denne forskjellen vil imidlertid berøre både det regulerte og det naturlige avløpet. Reguleringen vil fortsatt ha økt flommens spissvannføring med 55 m^3/s, men den prosentvise økning reduseres til ca. 25%.

RKS's anslag gir maksimalt 1625 l/skm^2og 1032 l/skm^2 fra henholdsvis Bleskestadåna (40 km^2) og Roaldkvamåna lokal (33.9 km^2), mens avløpsregistreringen på st. 1749-0 ga 833 l/skm^2 på det meste. Både magasin- og avløpsobservasjoner, og nedbørregistreringer viser at nedbøren avtok østover i den aktuelle perioden. Arealskalering av st. 1749-0 vil antagelig representere en nedre grense for avløpet fra de to feltene. RSK's anslag for Bleskestadåna synes for høyt, mens verdiene for Roaldkvamåna lokal virker rimeligere.

Større nedbør i de vestlige feltene vil også påvirke antagelsen om at st. 1749-0 arealskalert beskriver avrenningen i naturlig tilstand fra feltet mellom st. 1749-0 og Kvanndalsfoss, samt bekkeinntakene. Antas det spesifikke avløpet 200 l/skm^2 høyere rundt spissverdien øker avløpet med ca. 5 m^3/s. Dette reduserer den beregnede forskjellen mellom naturlig og regulert flomvannføring.

Antagelsen om at det ikke har vært overløp i bekkeinntakene som ledes mot enten Sandvatn eller Kvanndalsfoss er av mindre betydning for totalresultatet. Antar man at 200 l/skm^2 renner over fra tilsammen 16.2 km^2 gir dette ca. 3 m^3/s i samlet avløp. Overløp i bekkeinntakene vil øke forskjellen mellom naturlig og regulert avløpsflom.

Vannføringskurven for Holmevatn og Sandvatn i naturlig tilstand er tilnærmet ved hjelp av overfallsformelen og bestemmende tverrsnittsareal (vedlegg 2). Denne tilnærmingen vil sannsynligvis gi en øvre grense for avløpet fra vannene for en bestemt vannstand, og således representere en maksimal differanse mellom naturlig og regulert situasjon. Utslagene vil imidlertid bli små.

Ut fra foreliggende beregninger og de vurderingene som er gjort anslås maksimalvannføringen ved utløpet av Roaldkvamåna den 1.8.83 til å ligge mellom 220 m^3/s og 250 m^3/s. Naturlig maksimal flom den samme dag anslås ca. 50 m^3/s lavere.

6.2 Sannsynlig årsak til flomforverringen

Ved å sammenligne avrenningsforløpet fra Sandvatn i regulert og naturlig tilfelle den 1.8 ser man at avløpet fra denne delen av feltet er omtrent den samme (fig. 12 og 15). Fra Bleskestadåna inntak og Roaldkvamåna lokalfelt er avløpet det samme i de to situa- sjonene. Forskjellen som er fremkommet i beregningene må altså stamme fra Kvanndalsområdet. Den differansen som er fremkommet ser man forklart som forskjellen mellom lukeavløpet fra magasin Kvann- dalsfoss og st. 1749-0 arealskalert til magasin Kvanndalsfoss' tilsigsareal (89.4 km^2). Det er med andre ord her flomforverringen har funnet sted.

Hva kan så årsaken være til at det er manøvrert slik at flommen er økt ut av magasin Kvanndalsfoss? Kraftstasjonsbetjeningen har instruks om å tappe vann gjennom luken i magasin Kvanndalsfoss når vannstanden i magasinet overstiger kote 630.00, og å åpne luken slik at vannstanden såvidt mulig holder seg under kote 630.00 som til- svarer HRV. Rapportskjema 14 viser at denne instruksen ble fulgt. Det synes imidlertid klart at de observasjonsverdiene som lå til grunn for manøvreringen ikke kan være korrekte. I kap. 3.3.3. er redegjort for den feiltype RSK i ettertid fant på vannstands- registreringen i magasin Kvanndalsfoss. I vedlegg 3 er vannstanden i magasinet forsøkt rekonstruert. Rekonstruksjonsverdiene er svært usikre og kan ikke tillegges vesentlig vekt. Sammenligningen med st. 1749-0 viser imidlertid klart at vannstandsstigningen i magasin Kvanndalsfoss "henger etter" i tid. Limnigrafen ved st. 1749-0 viser stigende vannstand allerede fra kl. 1100. Vannstanden i maga- sinet begynner ifølge RSK's registreringer imidlertid først å stige svakt ca. kl. 1500 og så sterkere fra kl. 1600, til tross for at lukestillingen ikke er endret. Det er altså først ca. kl. 1500 at vanntrykket i magasinet har blitt så stort at det har begynt å gi utslag på registreringsutstyret. I mellomtiden har vannstanden i magasinet blitt så stor at, kombinert med økende tilsig, luken måtte åpnes til 2.70 m for å få vannstanden til å synke igjen på regi- streringsutstyret. Hvis ikke kommunikasjonsrøret mellom magasin og registreringspunkt hadde vært delvis tett ville man ha registrert en vannstandsstigning i magasinet på et tidligere tidspunkt.

Flombølgen kunne da ha blitt sluppet gjennom luken på normal måte uten at det hadde ført til noen flomforverring nedstrøms.

Denne episoden viser nødvendigheten av at kraftstasjoner utarbeider tilstrekkelige ettersynsrutiner for sine måleinstallasjoner. Tetting av kommunikasjonsrør er normalt en feil som oppstår gradvis. Ved regelmessig inspeksjon vil derfor vanligvis feil av denne typen kunne bli oppdaget.

6.3 Flommens gjentaksintervall

Hvor ofte en flom over eller lik en viss størrelse gjennomsnittlig forekommer beskrives av flommens gjentaksintervall. Gjentaks- intervallet bestemmes ved hjelp av en flomfrekvensanalyse.

For å kunne anslå gjentaksintervallet til flommen den 1.8.83 er det gjennomført en flomfrekvensanalyse på årlige maksimalflommer (spiss- verdier) på st. 1749-0 Kvanndal i perioden 1969-83. Resulstatet er plottet i fig. 17. Denne viser at en flom større eller lik den som opptrådte denne dagen (ca. 53 m^3/s) gjennomsnittlig forekommer hvert annet år.

Det er sannsynlig at gjentaksintervallet for flommen ved utløpet av Roaldkvamåna i naturlig tilstand ville være noe større. Både nedbørobservasjoner og vannstandsdata viser at nedbøren avtok østover. Flommen den 1.8.83 ville imidlertid ikke representert noen uvanlig stor flom i dette vassdraget i uregulert tilstand.

Ved beregningen av flommens størrelse ved utløpet av Roaldkvamåna er observasjonene ved st. 1749-0 lagt til grunn for avløpet fra de vestligste feltene. Dette avløpet tilsvarer avløpet til en flom med 2 års gjentaksintervall. Ved å anta at flommen på 160 m^3/s representerer en 2-årsflom, kan man vurdere hvor sjelden flommen blir med et tillegg på 55 m^3/s som følge av reguleringen:

$Q_2 = 160\ m^3/s$

$Q_2/\bar{Q}_{max} = 0.97 \quad \bar{Q}_{max} = 164\ m^3/s$

$Q_{REG} = 215\ m^3/s \quad Q_{REG}/\bar{Q}_{max} = 215/164\ m^3/s = 1.31$

Ut fra dette får Q_{REG} et gjennomsnittlig gjentaksintervall på ca. 8 år. Selv med en økt vannføring på 55 m^3/s som følge av manøvreringen av det regulerte systemet den 1. aug. representerte altså ikke flommen noen spesielt skjelden hendelse. I naturlig vassdrag ville flommen gjennomsnittlig bli overskredet hvert åttende år.

Tilsvarende beregning kan gjøres på de tallene som i kap. 6.1 er angitt som yttergrenser for maksimalvannføringen:

<u>Nedre grense:</u> $Q_2 = (220-50)\ m^3/s = 170\ m^3/s$

$Q_2/\bar{Q}_{max} = 0.97 = \bar{Q}_{max} = 175\ m^3/s$

$Q_{REG} = 220\ m^3/s$

$Q_{REG}/\bar{Q}_{max} = 220/175 = 1.43$

Gjentaksintervall Q_{REG} = 7 år

Øvre grense: Q_4 (250-50) m^3/s = 200 m^3/s

Denne flommen er ca. 15% høyere og tilsvarer da en 4-års flom.

$Q_4/\bar{Q}_{max}$ = 1.14 = $\bar{Q}_{max}$ = 175 m^3/s

Q_{REG} = 250 m^3/s

$Q_{REG}/\bar{Q}_{max}$ = 250/175= 1.43

Gjentaksintervall Q_{REG} = 17 år.

Til sammenligning kan nevnes at flommen ved st. 1749-0 den 5. okt. 1983 var en langt sjeldnere hendelse. Vi kjenner ikke flommens spissverdi eksakt. Dersom vi antar en vannstand på 4.00 m på den lokale vannstandsskala tilsvarer dette en flom på ca. 100 m^3/s og et gjennomsnittlig gjentaksintervall på ca. 100 år. På så store vannføringer er imidlertid vannføringskurven usikker. Ekstrapolasjon av flomfrekvenskurvene er et annet usikkerhetsmoment.

7. SVAR PÅ SPØRSMÅL FRA VEGSJEFEN I ROGALAND

I brev av 22.12.83 til Hydrologisk avdeling har vegsjefen i Rogaland kommet med endel spørsmål som ikke er besvart direkte gjennom det som er skrevet i de foregående kapitlene. Disse vil bli tatt opp i det følgende.

7.1 RSK's overordnede plikt til å dempe flom

Vegsjefen ønsker avklaret hvorvidt RSK har en overordnet plikt, sålangt det er mulig, å forsøke å hindre eller avdempe flomsituasjoner uansett om dette var flommer som ville kommet uavhengig av reguleringen.

Dette spørsmålet ble tatt opp med sjefsing. O. Fossheim ved Konsesjonskontoret i Vassdragsdirektoratet den 25.1.84. Han fastslo at RSK's forpliktelser i denne forbindelse står beskrevet i manøvreringsreglementets pkt. 2 i reguleringstillatelsen av 3. mai 1974. (Vedlegg 1) Her heter det: ".....og ved manøvreringen forøvrig has for øye at vassdragets tidligere flomvassføring ikke forøkes og...". Med "tidligere flomvassføring" forstås flomvannføring i uregulert vassdrag. RSK har altså ingen overordnet plikt til å avdempe flommer ut over flommens størrelse i naturlig vassdrag.

7.2 Fyllingsgrad i magasinene

Observert vannstand i magasinene kl. 0700 den 1.8.83 (1), tilsvarende magasinvolum (2) og fyllingsgrad i % av magasinvolum ved HRV (3), samt gjenværende volum før HRV (4) er vist i nedenstående tabell:

	(1)	(2)	(3)	(4)	HRV
Magasin	m.o.h.	$10^6 m^3$	%	$10^6 m^3$	m.o.h.
Isvatn	1293.83	14.2	88.8	1.8	1295.00
Holmevatn	1057.64	91.9	95.7	4.1	1058.00
Sandvatn	950.13	66.4	100.6	-	950.00
Kvanndalsfoss	630.15	1.7	106.3	-	630.00

Verdiene er hentet fra RSK's vannhusholdnindsskjema for uke 31 (fig. 6). Forøvrig vises til kapittel 3.3.3, 3.3.5 og vedlegg 3.

7.3 Endringshastighet i vannstanden ved brua

Av fig. 16 fremgår klart at vannføringsøkningen til den regulerte flommen den 1.8.83 var langt sterkere enn den ville ha vært under naturlige forhold. Mens vannføringen under naturlige forhold på det meste ville ha økt med 25 m^3/s i løpt av to timer, førte tappingen fra magasin Kvanndalsfoss til i en tilsvarende periode (kl. 1900-2100) til en vannføringsøkning på ca. 120 m^3/s. Denne forskjellen vil også måtte resultere i forskjellig endringshastighet når det gjelder vannstanden ved brua.

Hvorvidt denne økede vannstandsendring påvirker elvas evne til å grave er forelagt amanuensis K. Nordseth, Geogr. Inst., Universitetet i Oslo og overing. O. Strømmen, Forbygningsavdelingen, NVE. De mener begge at elvas erosjonsevne i all hovedsak bestemmes av vannhastigheten, og at endringshastigheten i denne er uvesentlig.

8. KONKLUSJON

Ved sin manøvrering av lukene i magasin Kvanndalsfoss den 1.8.83 har RSK A/S øket den naturlige flomvannføringen ved utløpet av Roaldkvamåna med ca. 50 m^3/s.

Maksimalvannføringen ved utløpet av Roaldkvamåna er anslått til å ligge mellom 220 m^3/s og 250 m^3/s, hvilket tilsvarer et gjentaksintervall på mellom 7 og 17 år.

En flom av denne størrelsem burde normalt ikke forårsake et brohavari. Den aktuelle flommen synes å ha vært den utløsende faktor for at broens pillar sank, uten at den kan sies å være den eneste årsaken til dette.

Antagelig har det funnet sted graving rundt pillaren over endel tid. Strømhastigheten under broen er stor. Ut fra påvist maksimalvannstand den 1. aug. har hastigheten vært oppe i mellom 3 og 4 m /s rundt flomkulminasjonen.

Et annet forhold er at reguleringen av Suldalsvatn kan ha ført til en endret samvariasjon mellom vannføringen i Roaldkvamåna og vannstaden i Suldalsvatn. Dette vil kunne endre stabiliteten i lengdeprofilet i de nedre delene av Roaldkvamåna og føre til tilbakeskridende erosjon i elveleiet.

Aktulle vannstander ved broen er tegnet inn på fig. 18. Her fremgår at vannstanden i Suldalsvatn den 1.8.83 varierte mellom kote 68.44 og 68.50 (=HRV), mens påvist maksimalvannstand på oppsiden av broen lå på kote 68.90.

LITTERATUR:

NVE, Vassdragsdirektoratet.
1981: Forskrifter for dammer. Universitetsforlaget.

VEDLEGG I

Manøvreringsreglement
for Røldal—Suldal-vassdragene.

(Fastsatt ved kongelig resolusjon av 3. mai 1974.)

Reguleringsgrenser:	Øvre kote	Nedre kote	Oppd. i m	Senkn. i m	Regh. i m	Flom-stign. til kote
Valldalen	745,00	665,00	80,00		80,00	746,00
Votnavatn	1 020,00	975,00	45,00		45,00	1 020,75
Reinsvatn	1 020,00		44,00		44,00	1 020,75
Reinshølen	1 020,00		44,00		44,00	1 020,75
Gauthellervatn	1 020,00		42,00		42,00	1 020,75
Stavsvatn	1 020,00		42,00		42,00	1 020,75
Grunnavatn	1 020,00		13,00		13,00	1 020,75
Røldalsvatn	380,00	363,00		17,00	17,00	
Vasstølvatn	753,00	732,50	20,50		20,50	753,50
Finnabuvatn	908,00	893,00	10,00	5,00	15,00	908,50
Sandvatn	950,00	924,00	21,00	5,00	26,00	951,00
Holmavatn	1 058,00	1 048,00	4,50	5,50	10,00	1 058,50
Isvatn	1 295,00	1 285,00		10,00	10,00	
Inntaksbasseng i Kvanndalen	630,00	620,00	10,00		10,00	
Nupstjørn	1 302,00	1 285,00 x)	0	20,00	20,00	
Østre Middyrvatn	1 230,50	1 190,00	1,50	39,00	40,50	
Vestre Middyrvatn	1 217,50	1 190,00	4,50	23,00	27,50	
Kaldevatn	1 205,00	1 183,00	9,50	12,50	22,00	1 205,50
Kvanndalstjørn	1 216,80	1 215,80	0	1,00	1,00	
Djupetjørn	1 167,20	1 146,40	0	20,80	20,80	
Indre Grubbedalstjørn	1 078,80	1 045,00	0	33,80	33,80	
Midtre Grubbedalstjørn	1 070,00	1 045,00	0	25,00	25,00	
Inntak Bleskestadelv	640,00	635,00	5,00	0	5,00	
Salttjørn	967,50	967,50	3,50	0	0	

Høydene refererer seg til NVE's fastmerker i vassdrags-nivellement l. nr. 410, 411, 412, 413 og 414.

Overføringer:

Avløpet fra Kvesso-elvas nedslagsfelt til utløpsosen for Nupstjørn, i alt 15,3 km², overføres til Middyrvatna.

Det samlede avløp, inklusive det overførte avløp fra Kvesso, i Risbuelva fra Vestre Middyrvatn med naturlig vasstand kote 1213,00, i alt 15,3 km² + 12,2 km² = 27,5 km², overføres til Votna. På overføringstunnelen mellom Middyrvatna og Votna tas inn en bekk med nedslagsfelt 2,4 km².

Avløpet fra Risbuelvas nedslagsfelt mellom kotene 1213,00 og 756,00, i alt 10,4 km², føres inn på driftstunnelen for Røldal Kraftverk.

Avløpet fra Kvanndalstjørns nedslagsfelt kote 1210,80, 1,7 km², overføres til Grubbedalen.

Det samlede avløp fra Grubbedalselva ned til utløpsosen av Midtre Grubbedalstjørn kote 1071,00, dvs. fra i alt 1,7 + 13,6 = 15,3 km², overføres til Votna.

Avløpet fra Blåbergdalen og Austmannebekken, i alt 21,6 km², føres inn på overføringstunnelen mellom Grubbedalen og Votna. Inntaket i Blåbergdalen blir beliggende på ca. kote 1045,00.

Avløpet fra Stølsånas felt mellom Midtre Grubbedalstjørn og Vasstølvatn, 45,4 km², og avløpet fra Øynoelv, 9 km², ned til kote 756,00 overføres til driftstunnelen til Røldal Kraftverk.

x) Skal være 1282,00

Rettet 1/9-75 I flg. O. Fossheim.

Avløpet fra Stølsånas felt nedenfor Vasstølvatn og ned til bekkeinntak i Stølsåna kote 381,00, i alt 10 km², føres inn på driftstunnelen for Suldal I Kraftverk.

Avløpet fra en mindre bekk, Bakliabekken, ned til kote 1027,00, 1,5 km², overføres til Votna.

Avløpet fra Grytøyrelvas felt, redusert med Blåbergdalens felt ovenfor ca. kote 1045,00 samt Austmannebekken, ned til kote 756,00, i alt 31,4 km², føres inn på driftstunnelen til Røldal Kraftverk.

Avløpet fra Gjertrabekken ned til kote 811,50, 0,5 km², føres inn på fordelingsbassenget Røldal Kraftverk.

Avløpet fra Kvennabekken ned til kote 641,00, 4 km², føres inn på driftstunnelen til Suldal II.

Avløpet fra Tverråna i Juvstøldalen ned til kote 650,00, 6 km², føres inn på driftstunnelen til Suldal II.

Avløpet fra Kvanndalselva ved kote 630,00, 69 km², føres inn på driftstunnelen til Suldal II.

Avløpet fra Bleskestadåna mellom kotene 950,00 og 640,00, i alt 38,8 km², overføres til Havreåna og videre til driftstunnelen for Suldal II. På overføringstunnelen føres inn en mindre bekk, 0,8 km².

Avløpet fra Havreåna ned til kote 636,50, 5,4 km², overføres sammen med avløpet fra Bleskestadåna og driftsvatnet fra Kvanndal Kraftverk til driftstunnelen for Suldal II. På overføringstunnelen føres inn en mindre bekk i Kvelvane med nedslagsfelt 0,9 km².

Avløpet fra Sæbyggedalen kote 975,00, 0,4 km², overføres til Sandvatn.

Avløpet fra Isvatn, hvis felt er 5,0 km², overføres til Litlavatn.

2.

Under flom tappes det fra Røldalsvatn slik at vasstanden i dette ikke blir høyere enn den ville ha vært ved samme tilsig før reguleringen og ved manøvreringen for øvrig has for øye at vassdragets tidligere flomvassføring ikke forøkes og at isforholdene i Suldalslågen ikke forverres.

I fyllingstiden tappes magasinene slik at avløpet fra Suldal I og Suldal II til sammen utgjør minst 42 m³/sek. uavhengig av tilsigsforholdene, men alt uregulert tilløp til Røldalsvatn i denne periode brukes til å fylle dette vatn opp til kote 378,00. Røldalsvatn må ikke tappes under denne grense før 1. oktober.

Forannevnte plikt til å tappe minst 42 m³/sek. uavhengig av tilsigsforholdene, bortfaller etter 1. august hvert år, dog slik at konsesjonæren i fyllingstiden er forpliktet til også etter dette tidspunkt å holde en minimumsvassføring fra Suldal I og Suldal II på tilsammen opptil 42³/sek. dersom en av rettighetshaverne på forhånd utpekt representant, krever dette. Kravet om en slik minimumsvassføring på opptil 42 m³/sek. må være fremsatt innen fredag kl. 10.00 for den derpå følgende uke.

Dersom tilskudd av magasinvatn har utgjort minst 7 mill. m³ for å opprettholde en driftsvassføring forlangt i henhold til foregående ledd kan driftsvassføringen i Suldal I og II reduseres til 30 m³/sek. Den kan først forlanges hevet opp til 42 m³/sek. igjen når det naturlige tilsig tilsvarer denne vassføring.

For øvrig kan tappingen skje etter behovet i kraftstasjonene.

3.

Fra østre vassdrag avgis det til den alminnelige fløting i Suldalslågen nødvendige vatn overensstemmende med de ved overenskomst eller skjønn fastsatte regler.

4.

Det skal påses at flomløp og tappeløp ikke hindres av is eller lignende samt at reguleringsanleggene til enhver tid er i god stand. Det føres protokoll over manøvreringen og avleste vasstander samt observeres og noteres om det forlanges, nedbørmengder, temperatur, snødybder m. v. Hovedstyret for Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen kan forlange å få tilsendt utskrift av protokollen som regulanten plikter å oppbevare så lenge reguleringen består.

Hovedstyret kan bestemme hvor damvokteren skal bo, og at han skal ha telefon i sin bolig.

5.

Viser det seg at slipping etter dette reglement medfører skadelige virkninger av omfang for allmenne interesser, kan Kongen uten erstatning til konsesjonæren, men med plikt for denne til å erstatte mulige skadevirkninger for tredjemann, fastsette de endringer i reglementet som finnes nødvendige.

Til å forestå manøvreringen antas en norsk statsborger som godtas av vedkommende departement.

Forandringer i dette reglement kan bare foretas av Kongen etter at de interesserte har hatt anledning til å uttale seg.

VEDLEGG 2

BEREGNING AV VANNFØRINGSKURVE FOR NATURLIG UTLØP AV SANDVATN OG HOLMEVATN

Gitt en tilløpsflom til en sjø må man kjenne sjøens vannføringskurve og magasinkurve for å kunne beregne avløpsflommen fra sjøen. I regulerte sjøer kan vannføringskurven bestemmes relativt enkelt ut fra overløpets dimensjoner og form. I naturlige sjøer er forholdet mer komplisert. Her er det såkalte "bestemmende profil" eller "bestemmende elveseksjon" avgjørende for vannføringskurvens form.

For Holmevatn og Sandvatn er bestemmende profil definert ved å legge et snitt gjennom det trangeste utløpsprofilet fra vannene med utgangspunkt i tegning nr. IF 43835^{C} og 508-133. Holmevatn's bestemmende profil er delt i to løp. De resulterende bestemmende profilene er gjengitt i fig. 19 og 20.

De bestemmende profilene er delt opp i vertikale seksjoner med bredde B tilpasset bunnprofilets form. For bestemte høydenivåer er middelvannstanden (H) i hver enkelt seksjon bestemt. Deretter er overfallsformelen

$$Q = k \times B \times H^{1.5}$$

benyttet for hver delseksjon med k varierende fra 1.5 til 1.9. Summen av vannføringene fra alle seksjonene er totalvannføringen for et bestemt høydenivå.

De resulterende vannføringskurvene er gjengitt i fig. 19 og 20 og kan skrives på formen:

Holmevatn: $Q = 125.7534 \times (H-1053.40)^{2.416}$

Sandvatn: $Q = 13.7708 \times (H-927.60)^{2.2382}$

der H er angitt i det høydesystem som er benyttet på tegningene som er lagt til grunn for det bestemmende profil.

Beregning av naturlige avløpskurver i sjøer hvor det ikke er foretatt vannføringsmålinger er svært usikkert. For den foreliggende undersøkelsen vil imidlertid selv en stor unøyaktighet i disse kurvene få liten effekt på sluttresultatet.

VEDLEGG 3

REKONSTRUKSJON AV VANNSTANDER I KVANNDALSFOSS MAGASIN

For kjente verdier av tilsig til Kvanndalsfoss (k x Q_{1749}), avløp fra luke (Q_L) og produksjon i Suldal II (Q_p) kan vannstandsvariasjonen (H) i Kvanndalsfoss magasin bestemmes fra hvert tidsskritt (T) slik:

$$\text{I} \quad k \times Q_{1749} = Q_L + Q_p \pm \frac{\Delta H}{\Delta T} \cdot A$$

der A = magasinrealet

$$\pm \Delta H = \frac{\Delta T \cdot (k \cdot Q_{1749} - Q_L - Q_p)}{A}$$

Uten overløp i bekkeinntakene blir

$$k = \frac{88.9 \text{ km}^2}{63.5 \text{ km}^2} = 1.40$$

Beregningene starter kl. 0000 31.7.83. På dette tidspunkt stemmer netto tilsig beregnet ut fra 1749-0 og ut fra luke/magasin/kr.st.-data overens.

Ved å sette

$$Q_{TN} = 1.4 \times Q_{1749} - Q_L - Q_p$$

kan ligning I skrives på formen

$$Q_{TN} = \pm \frac{\Delta H}{\Delta T} \times A$$

Ved hjelp av routing kan H bestemmes for hvert tidsskritt.

For H > 631.0 m.o.h. blir det imidlertid overløp over dammen. Vannføringskurven for dette avløpet kan skrives på formen:

$$Q_0 = 206.2722 \times (H-631.00)^{1.4829}$$

For H > 631.00 gjelder altså ligningen

$$Q_{TH} - Q_0 = \pm \frac{\Delta H}{\Delta T} \cdot A$$

A hentes ut fra tegn. nr. IF 53476.

Beregningen viste at ved å starte kl. 0000 den 31.7 får vi vannstander som ligger høyere enn de observerte selv i perioder hvor den observerte vannstanden synker. Dette virker urimelig og skyldes etter alt å dømme at vannføringen i bekkeinntakene overrepresenteres ved bruk av st. 1749-0 i denne fasen av flommen. Tilsiget fra snøsmelting var rimeligvis mindre fra bekkeinntaksfeltene og lavest i Kvanndalen enn fra feltet til st. 1749-0 som ligger høyere.

Det er på denne bakgrunn foretatt en ny beregning med startstidspunkt kl. 1800 den 31.7. På dette tidspunkt viser vannstandsobservasjonene i Kvanndalsfoss et minimum (629.18). Startvannstanden for beregningen er satt lik 629.15.

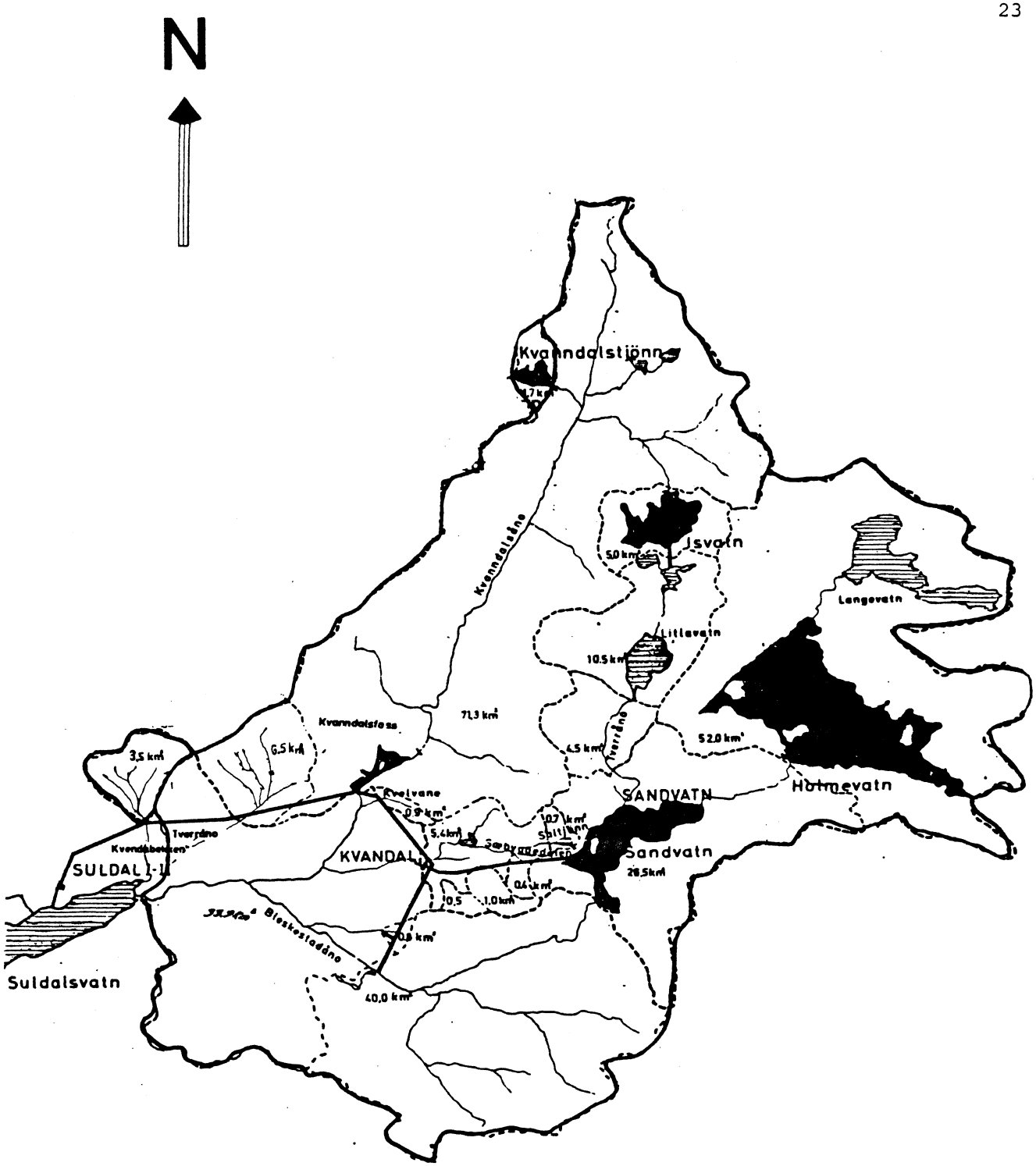
Fra litt før dette tidspunkt begynner nedbøren å gi økt tilsig til Kvanndalsfoss. Nedbør og magasinobservasjoner tyder på et større tilsig i vestlige enn i østlige deler av feltet. Ved å la st. 1749-0 representere bekkeinntakene i denne fasen av flommen vil etter alt å dømme tilsiget til Kvanndalsfoss heller bli under- enn overestimert. I motsatt retning virker eventuelt overløp i bekkeinntakene.

De sistnevnte beregningsresultatene er gjengitt på fig. 21 der også de vannstandene som ble registrert i RSK's driftsenstral er plottet. Figuren vser at de registrerte vannstandene ligger under de beregnede fra kl. 1800 den 31.7 til kl. 2100 den 1.8.

Etter dette er de registrerte vannstandene høyere frem til kl. 2400 den 2.5 da trykkforskjellen på registreringspunktet og i magasinet synes å være utjevnet. Det beregnede forløpet er ikke logisk over hele perioden hvis man antar at dårlig kommunikasjon i tilførselsrøret til målekommen er årsak til forskjellene. Vannstanden kan ikke synke på registreringsutstyret med mindre vannstanden i magasinet er minst like lavt. En mer sannsynlig kurve for vannstandsforløpet i magasin Kvanndalsfoss er derfor også tegnet inn i fig. 21.

Når avviket mellom beregnet og sannsynlig vannstandsforløp i magasinet blir så stor som i dette tilfellet skyldes det at ligning I er svært følsom for usikkerheter i netto- tilsiget. En m^3/s feil i tilsiget over en time gir ca. en cm feil i vannstanden over samme tidsrom. Når vi så vet at nettotilsiget utgjøres av tre ledd som alle er beheftet med usikkerhet kan man ikke vente et helt riktig beregningsresultat.

2170o/WH



MÅLESTOKK 1 : 150 000

Fig. 1 Reguleringssystem - Suldal II	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN **HYDROLOGISK AVDELING**		Kfr.	
			Erst. av:

BI. M-6155. 15.6.78.

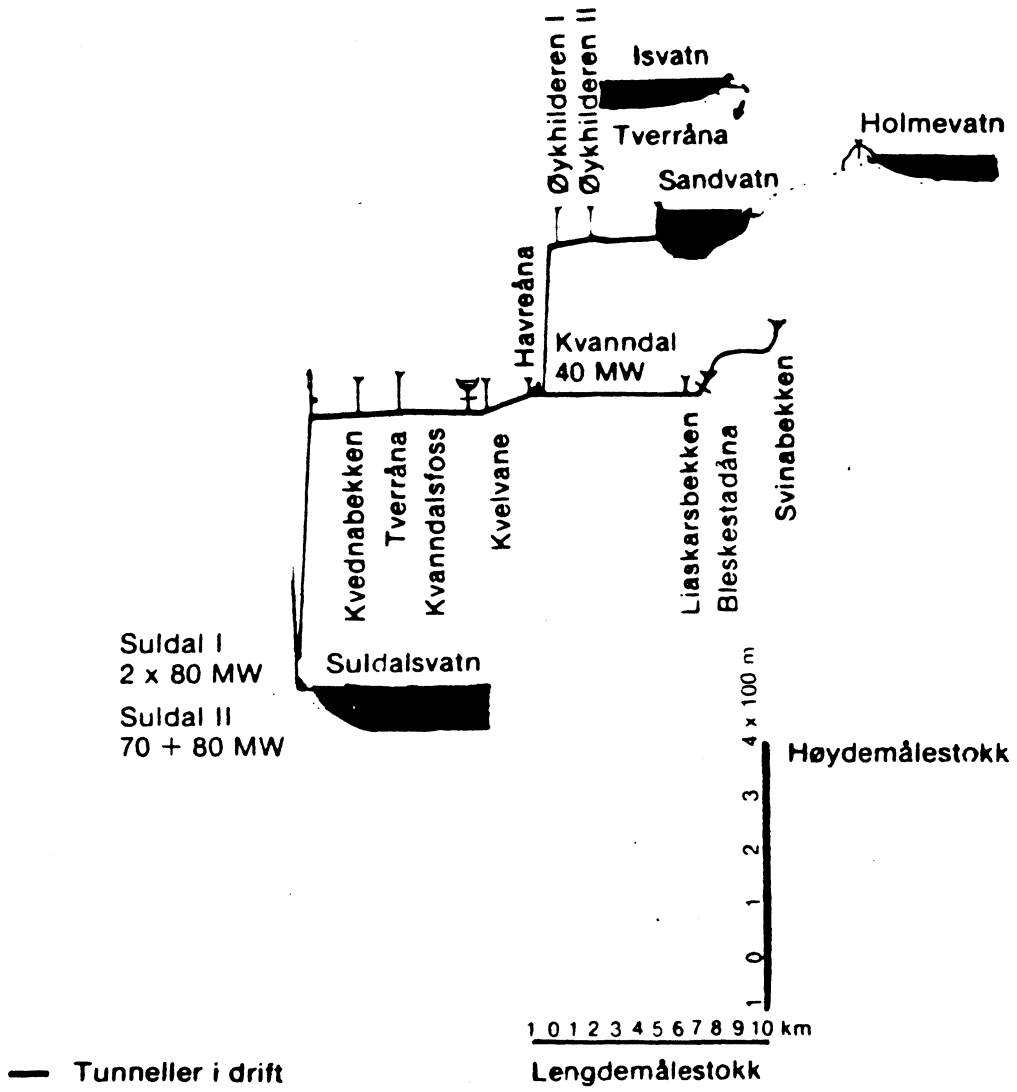


Fig. 2 Lengdeprofiler - Suldal II	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

BI. M-6155. 15.6.78.

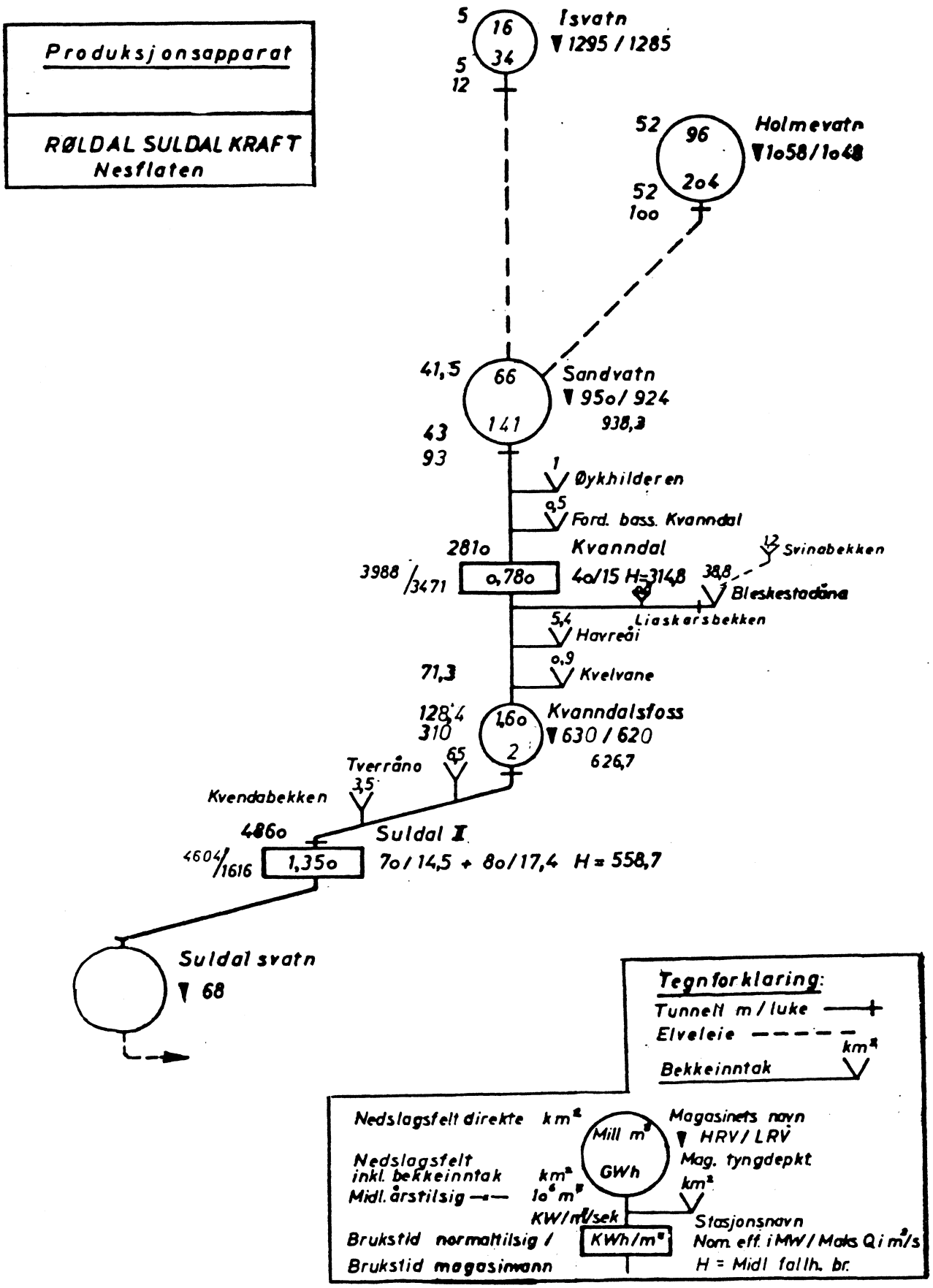
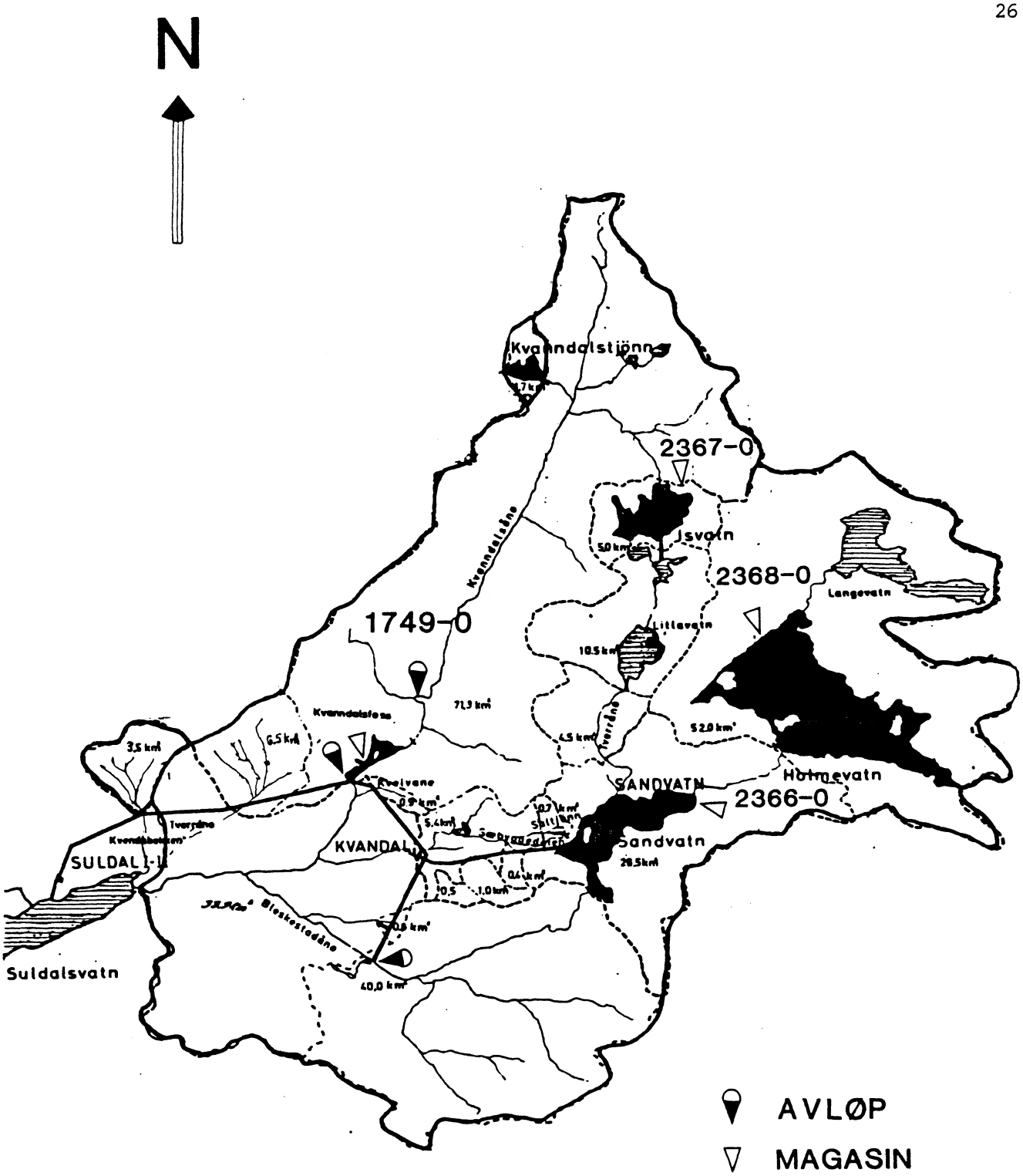


Fig.3 Produksjonsapparat - Suldal II	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.



MÅLESTOKK 1 : 150 000

Fig. 4 Hydrometrisk stasjonskart	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

Fig. 5 Driftsprotokoll

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN

HYDROLOGISK AVDELING

Målestokk

Tegn.

Trac.

Kfr.

Erstatn. for:

H

Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

Mandag 1. aug. 83. Kl. 0700—1500

0810. Aggr. Sv. flona avlastet og stoppet.
0810. Aggr. Middyr stoppet
0730 overløp Grydal 38 cm.
0815 — " — Risbu 11 cm.
1100. Vegvesenet melder gravet av kabbel fra Valldal vannstandsmålinge til Valldal defekt.
1250 K. Bratland melder vannstand Valldal 745.04
500 Kristensen melder vannstandsmålingen til Valldal provisorisk reparert.

K. Hulta

Mandag 1 aug 1983 kl 1800 - 2300

Kl 1510 Tvico melder fra Boldal
Luken i Bikhergdalen stengt kl 1000
Overløp i Bikhergdalen 40 cm.
I Grøtbekken er automatikken slått av og luken stengt. kl 1320
Kote på M. Grøtbekken var 1068,25
Overløp i Grydalen målt kl 1500 var 67 cm

Kl 1530 Luke Kvanndalsfoss redusert til 50 cm
" 1700 Åpnet 1 luke i Botnen
" 1800 Luke Kvanndalsfoss åpnet til 30 cm
" 1835 " " " " 40 cm
" 1900 " " " " 60 "
" 1940 " " " " 80 cm

Kl. 1948 Sign Rø 214 kortvarig
" 1956 Luke Kvanndalsfoss åpnet til 120 cm
" 2017 " " " " 160 "
" 2030 " " " " 180 cm
" 2045 " " " " 220 "
" 2040 " " " " 250 "
" 2050 " " " " 270 "
" 2100 " " redusert " 240 "
" 2115 " " redusert " 220 "
" 2130 " " " " 200 "
" 2150 " " " " 180 "
" 2200 " " " " 160 "
" 2210 " " " " 140 "
" 2300 2. luke Botnen åpnet.

F. Olsen

Mandag-Tirsdag 1. aug-2 aug 1983 kl. 23.00-07.00

Kl 23.25 Luke Kvanndalsfoss åpnet til 150 cm
" 23.35 " " " " 160 cm
" 04.15 " " redusert til 120 cm
" 05.12 Sign Rø 182 "Kjøling varsel" kortvarig.
" 05.15 Tapperluke Kvanndalsfoss redusert til 40 cm.

O.B.K.

Tirsdag 2. aug. 1983 kl. 07.00 - 15.00

Kl. 14.16 Sign. Rø 155 "Rødelal Feilskriver stort."

M. Gjerthsen

Røldal-Suldal Kraft A/S

Vannhusholdning

uke nr. 30/83 dato 25/7 – 31/7

ØSTRE VASSDRAG

	HRV 1296 LRV 1265 Isvann 16,0 Mm³ 5,0 km²				HRV 1058 LRV 1048 Holmevann 96,0 Mm³ 52,0 km²				HRV 950 LRV 924 Sandvann 66,0 Mm³ 43,0 km²				Bleskest.å. 38,8 km²			HRV 630 LRV 620 Kvanndalsf. 1,6 Mm³ 88,4 km²				Suldalsv.
0700	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.	Luke	Spill	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.
Mandag	1293,54	13,7	Stengt		1057,19	87,0			949,94	65,9			638,00			629,04	1,0			68,13
Tirsdag	1293,54	13,7	"		1057,24	87,6			950,20	66,8		0,7				626,95	0,7			68,38
Onsdag	1293,66	13,8	"		1057,30	88,2			950,10	66,3		0,6				629,71	1,5			68,39
Torsdag	1293,66	13,9	"		1057,37	88,0			950,18	66,4		0,7				629,84	"			68,41
Fredag	1293,22	14,0	"		1057,40	89,7			950,13	"		0,9	640,03		0,5	629,79	"		0,1	68,38
Lørdag	1293,28	14,1	"		1057,52	90,6			950,15	66,5		1,1	640,48		2,2	629,88	1,6		0,1	68,43
Søndag	1293,83	14,2	"		1057,58	91,2			950,13	66,4		1,0	640,39		1,8	629,60	1,5			68,35
Mandag	"	"	"		1057,64	91,9			"	"		0,9	640,40		1,6	630,15	1,7		0,2	68,38
Sum												5,7			6,1				0,4	

Røldal-Suldal Kraft A/S

Vannhusholdning

uke nr. 31/83 dato 1/8 – 7/8

950,13 ØSTRE VASSDRAG 627,73 68,24

	HRV 1296 LRV 1265 Isvann 16,0 Mm³ 5,0 km²				HRV 1058 LRV 1048 Holmevann 96,0 Mm³ 52,0 km²				HRV 950 LRV 924 Sandvann 66,0 Mm³ 43,0 km²				Bleskest.å. 38,8 km²			HRV 630 LRV 620 Kvanndalsf. 1,6 Mm³ 88,4 km²				Suldalsv.
Kl. 0700	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.	Luke	Spill	Vannst.	Mag.	Luke	Spill	Vannst.
Mandag	1293,83	14,2	Stengt		1057,64	91,9	Stengt		950,13	66,4			640,40			630,15	1,7			68,38
Tirsdag	1293,94	14,4	"		1057,80	93,6	"		950,23	67,0		1,6	640,65		3,0	629,81	1,5		3,7	68,43
Onsdag	1294,00	14,5	"		1057,88	94,5	"		950,15	66,5		1,4	640,43		2,3	627,32	0,8		1,0	68,17
Torsdag	1294,03	14,5	"		1057,93	95,0	"		950,13	66,4		1,0	640,38		1,6	626,52	0,6		0	68,18
Fredag	1294,27	14,9	"	Sepro	1058,00	95,8	"		950,13	66,4		0,9	640,40		1,6	626,16	0,5		0	68,21
Lørdag	1294,33	15,0	"		1058,05	96,3	"		950,11	66,4		0,7	640,35		0,5	627,19	0,8		0	68,10
Søndag	1294,40	15,1	"		1058,07	96,5	"		"	"		0,7	640,36		1,3	626,97	0,7			68,23
Mandag	1294	15,1	"		1058,08	96,6	"		950,12	66,4		0,7	640,40		1,6	627,20	0,8			68,24
Sum												7,0			11,9				4,7	

Fig. 6 Vannhusholdningsskjema

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN

HYDROLOGISK AVDELING

Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
	Trac.	H
	Kfr.	
		Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

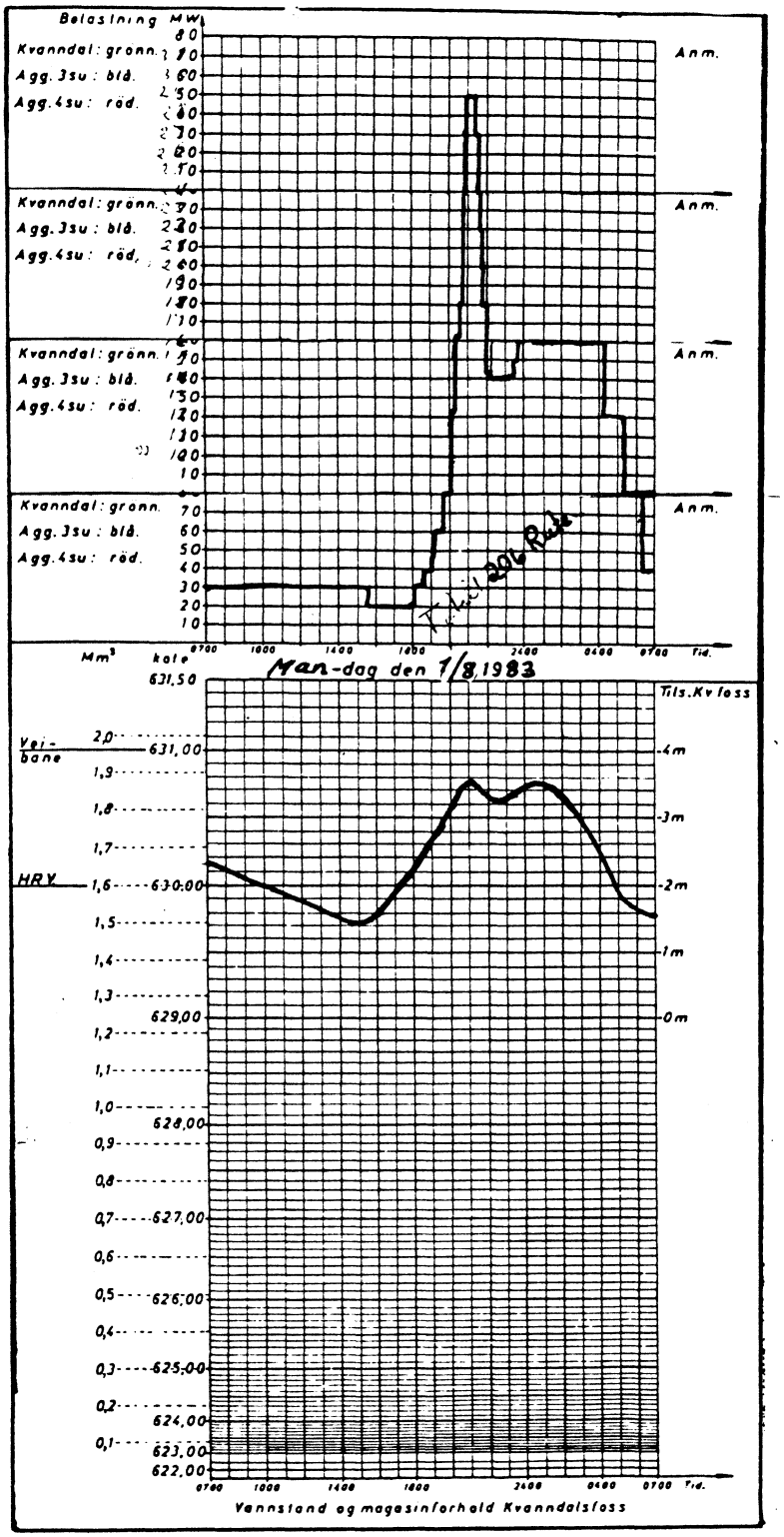


Fig. 7 Vannstand og lukestilling i Kvanndalsfoss magasin.	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN **HYDROLOGISK AVDELING**		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

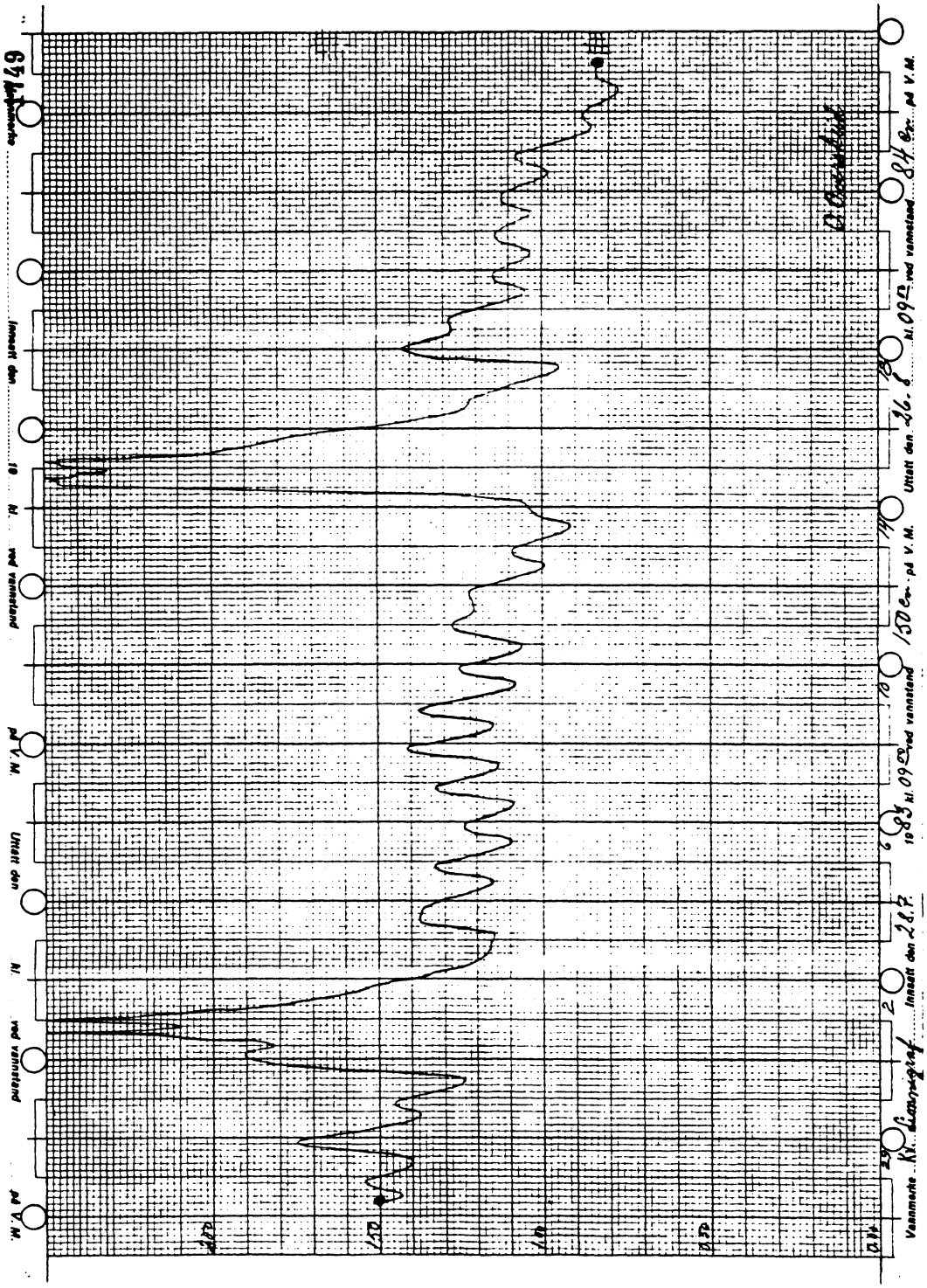


Fig. 8 Limnigrafskjema for st. 1749-0 Kvanndal for perioden 28.7.-26.8.83	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

BI. M-6155. 15.6.78.

KVANNDAL 1749-0

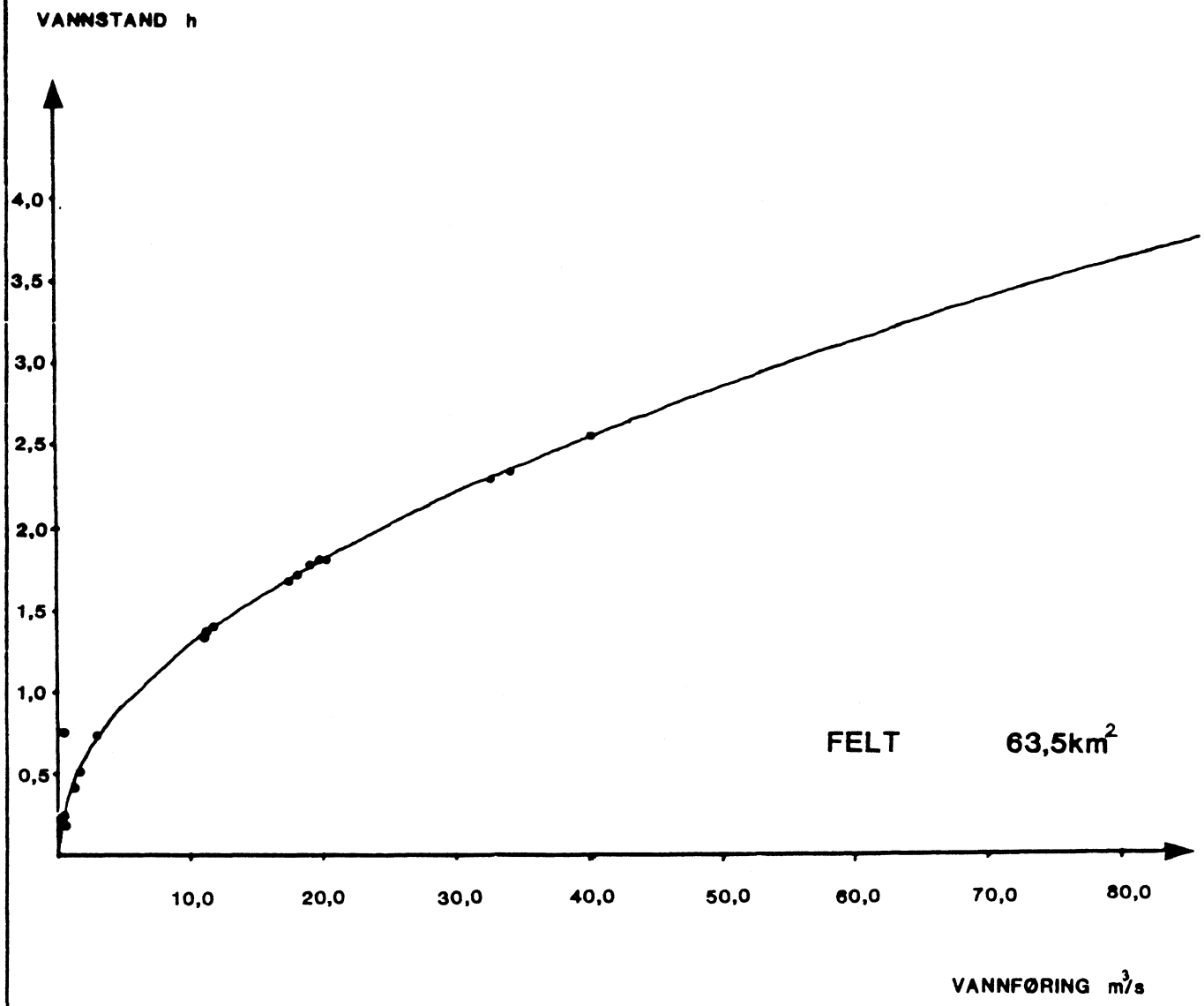
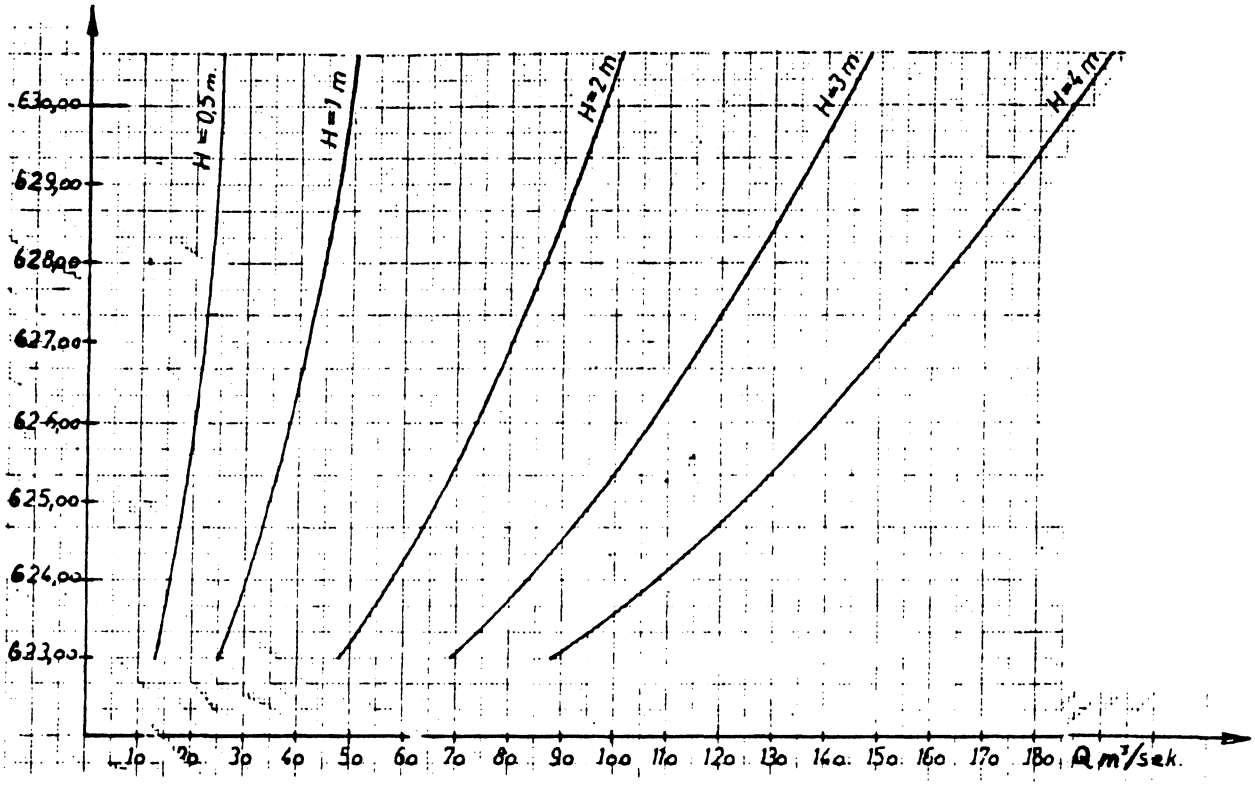
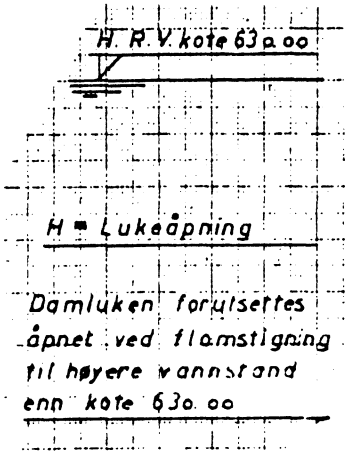


Fig. 9 Vannføringskurve - st. 1749-0 Kvanndal	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.





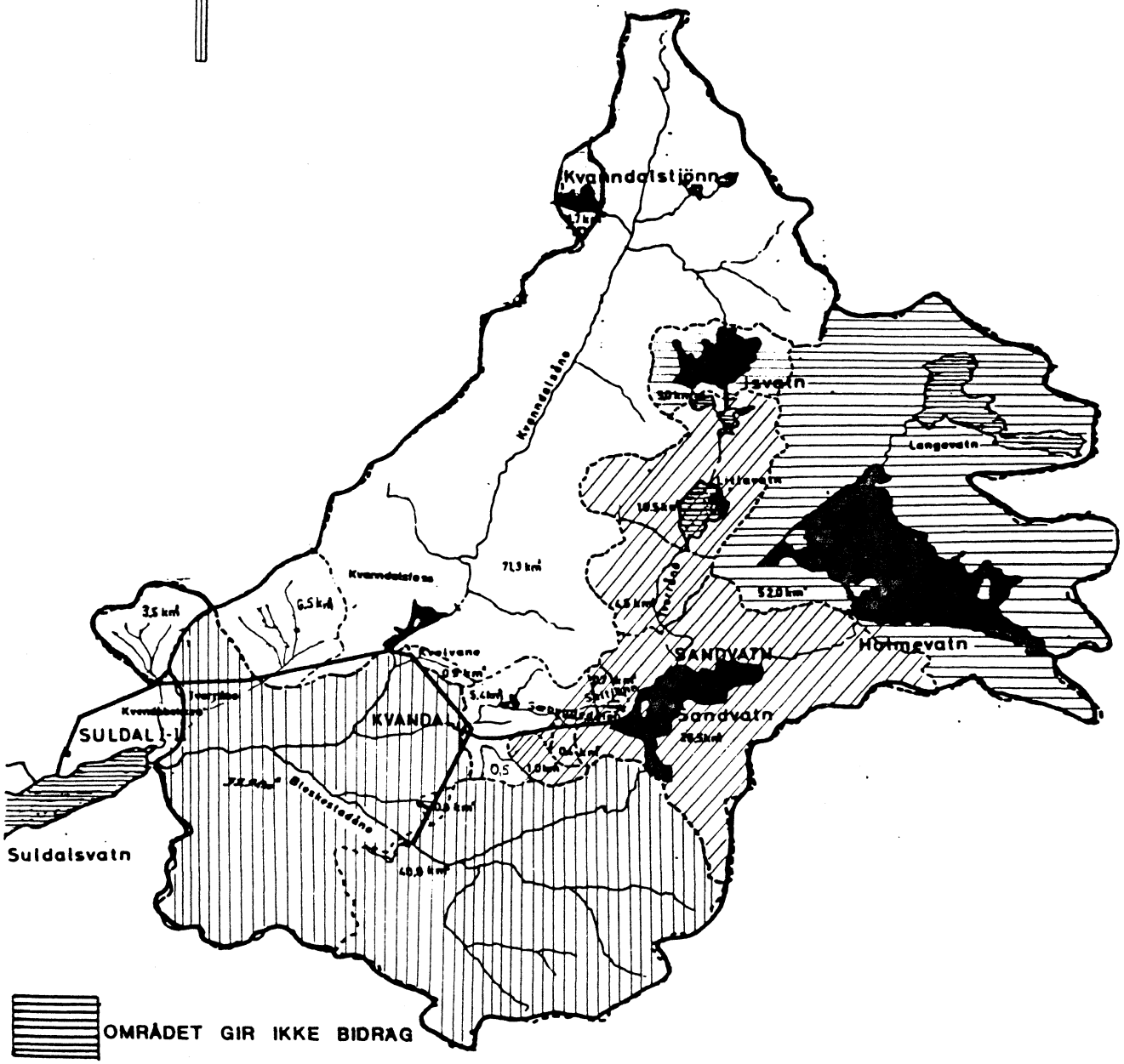
Luketerskel kote: 619,00
Lukebredde: 5,00 m

Røldal Suldal Kraft A/S
Dam Kvanndalsfoss
Beregnet tappekapasitet gjennom tunnløp
Tegn. nr. 40A Nesflaten 28.10.1971 O.L.

Fig. 10 Lukekapasiteter i Kvanndalsfoss dam

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.



A OMRÅDET GIR IKKE BIDRAG

B OMRÅDET GIR OVERLØP FRA SANDVATEN

C UPÅVIRKET AV REGULERING I AKTUELL SITUASJON

D OMRÅDET GIR AVLØP FRA KVANNDALSFOSS MAG.

MÅLESTOKK 1 : 150 000

Fig. 11 Feltinndeling - regulert vassdrag	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

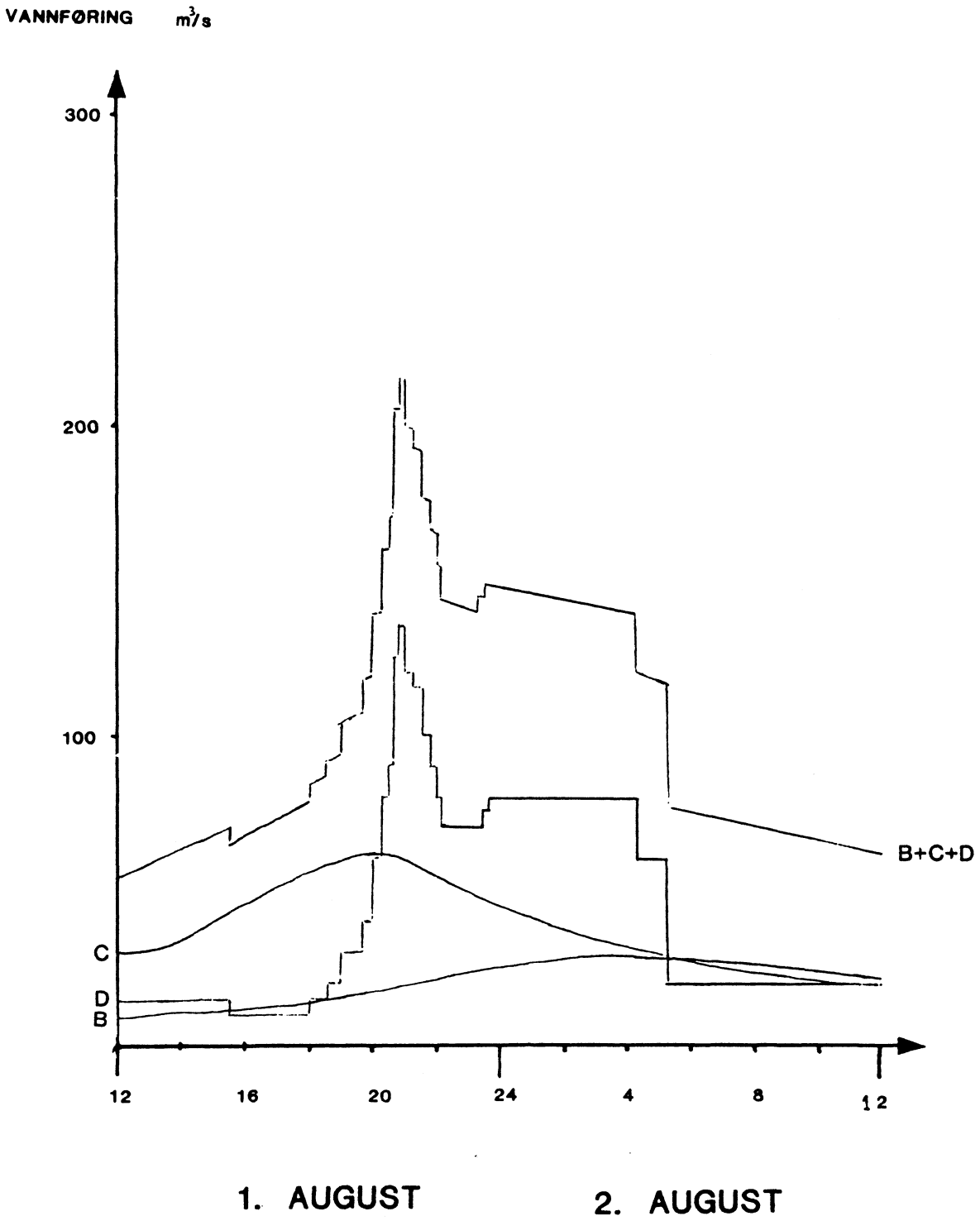
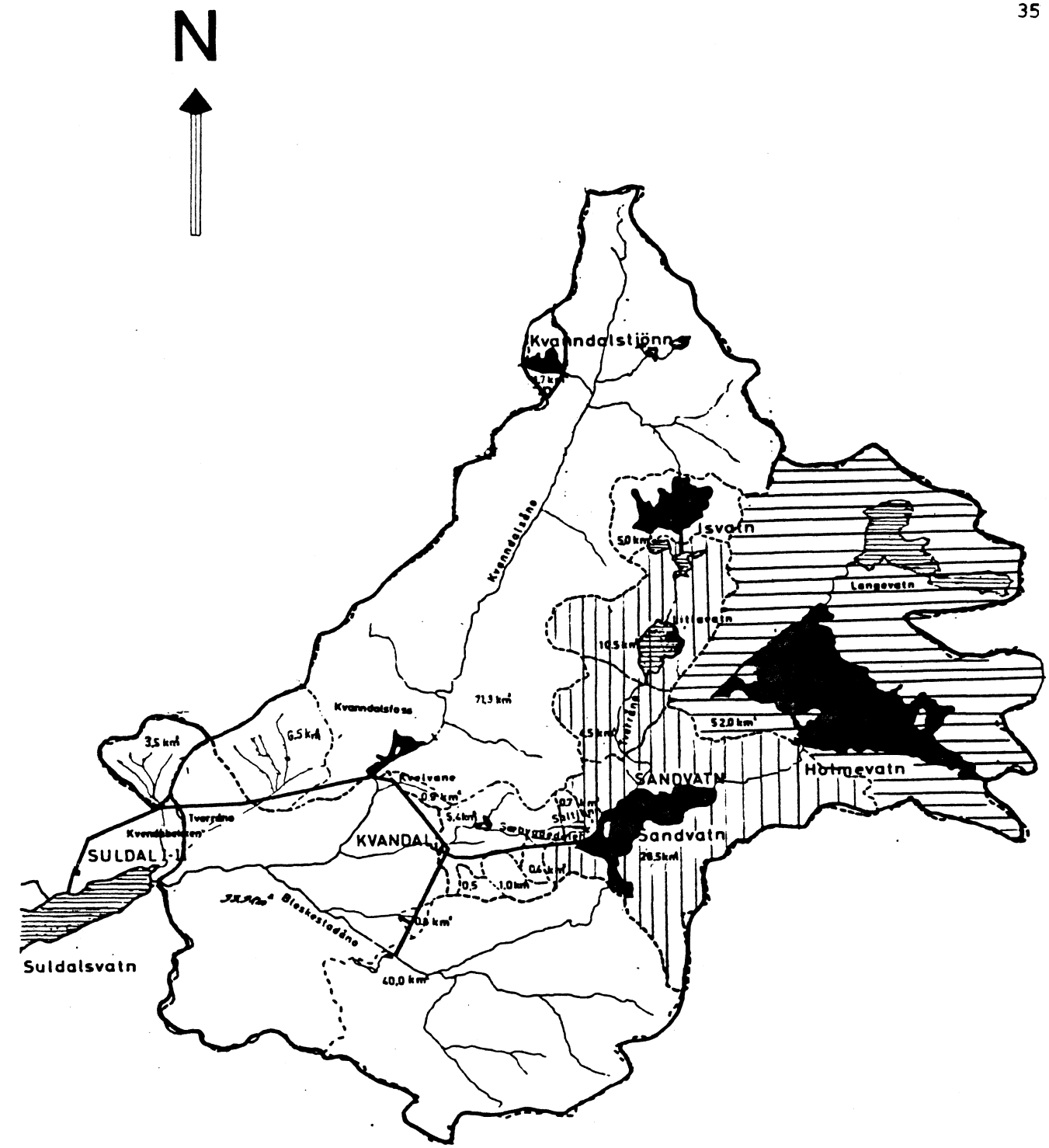


Fig. 12 Flomforløp - regulert vassdrag	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

BI. M-6155. 15.6.78.



A' HOLMEVATN-FELTET

B' SANDVATEN-FELTET

C' ØVRIGE-DELFELT

MÅLESTOKK 1 : 150 000

Fig. 13 Feltinndeling - uregulert vassdrag.	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

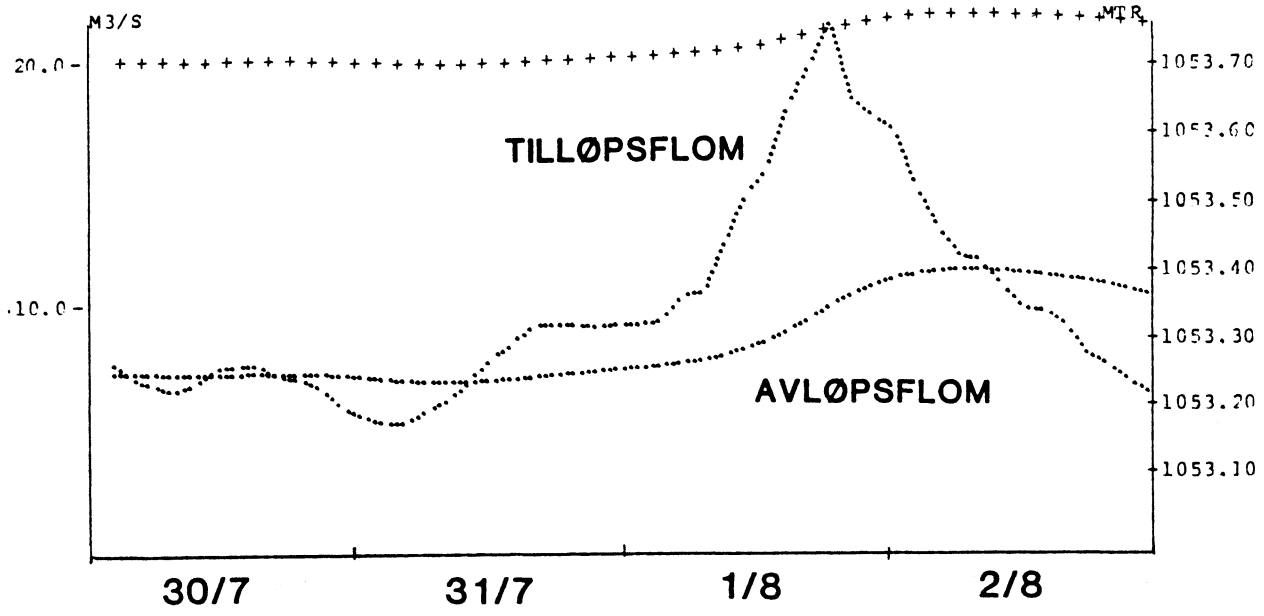


Fig. 14 Routing gjennom Holmevatn.	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

BI. M-6155. 15.6.78.

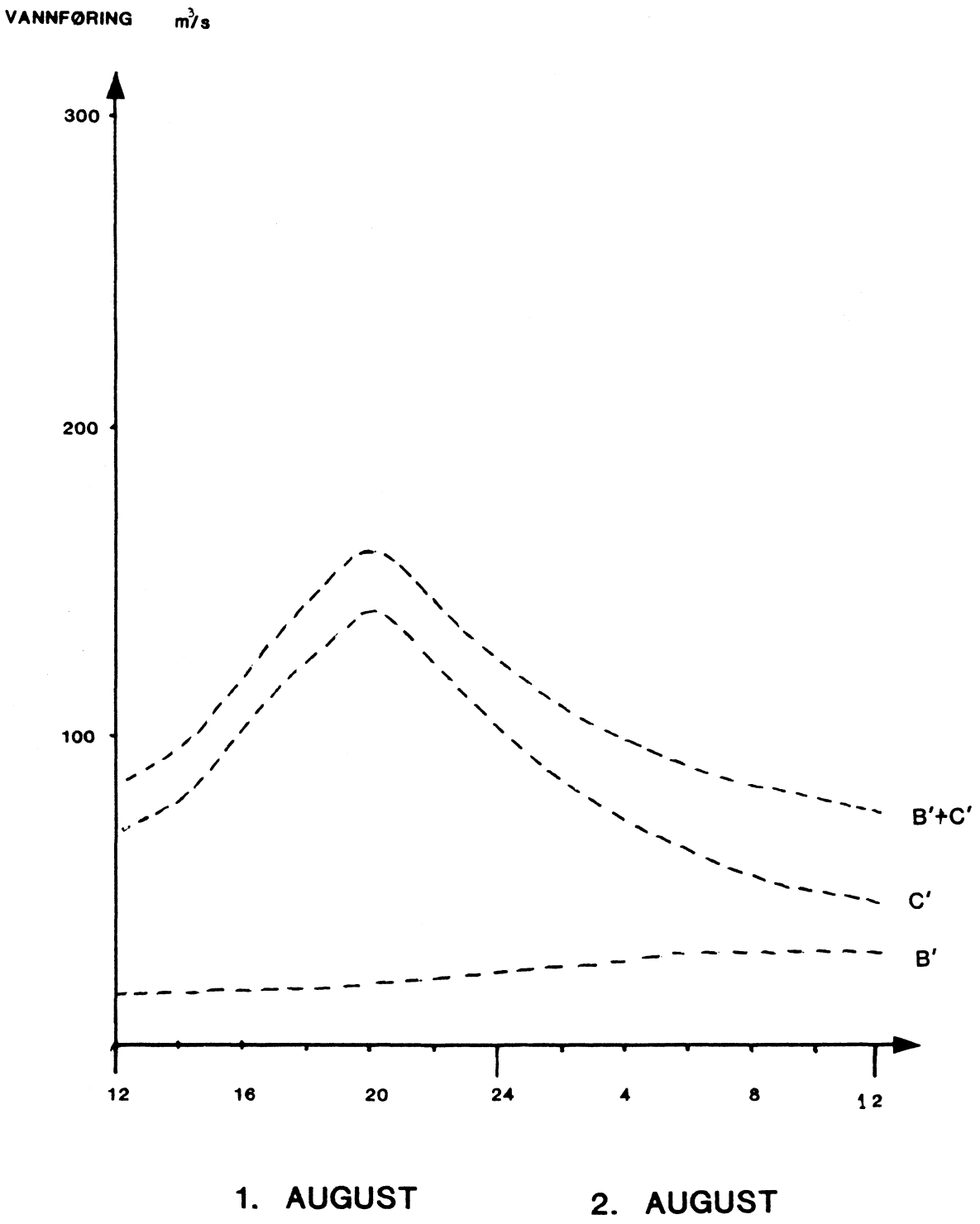


Fig. 15 Flomforløp - uregulert vassdrag.

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
HYDROLOGISK AVDELING

Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
	Trac.	H
	Kfr.	
		Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

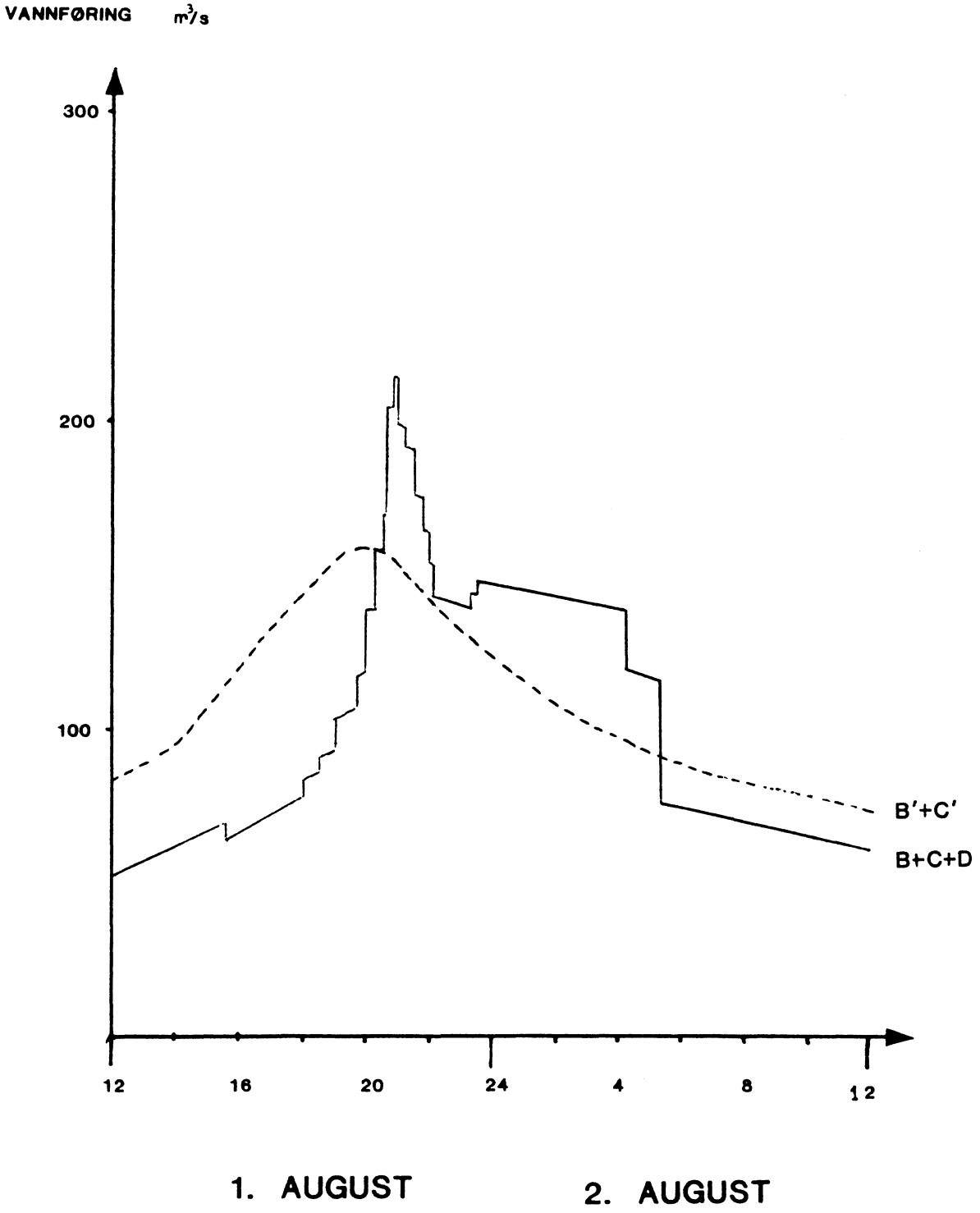


Fig. 16 Flomforløp ved brua: Uregulert vassdrag (B'+C'), regulert vassdrag (B+C+D).

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
HYDROLOGISK AVDELING

Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
	Trac.	H
	Kfr.	
		Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

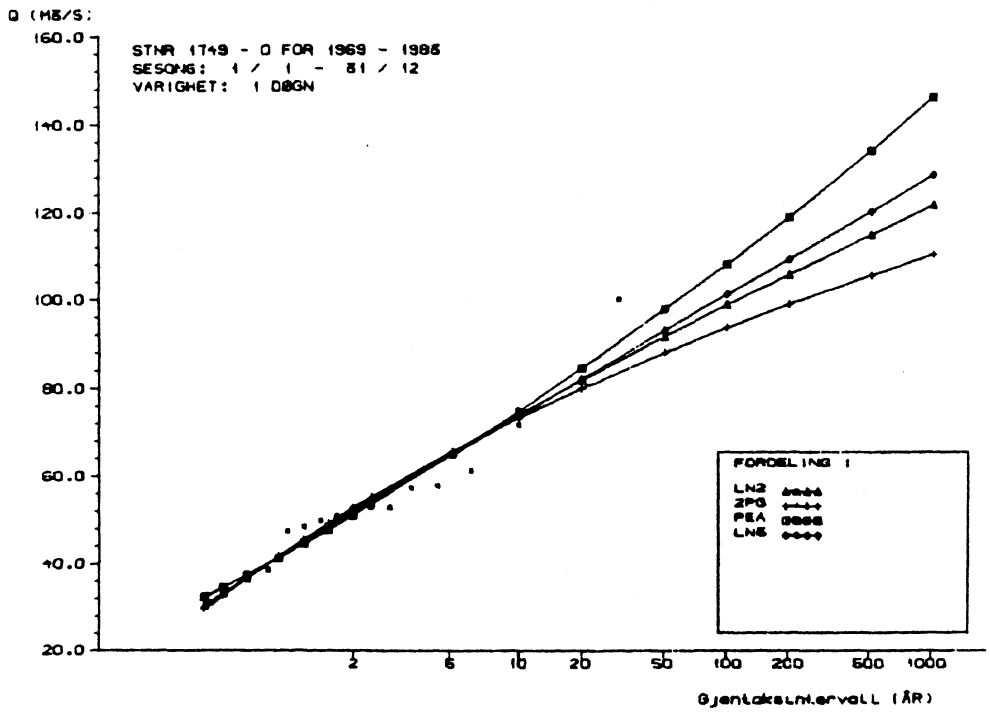


Fig. 17 Flomfrekvensanalyse på årlige spissverdier for st. 1749-0 i årene 1969-83.

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
HYDROLOGISK AVDELING

Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
	Trac.	H
	Kfr.	
		Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

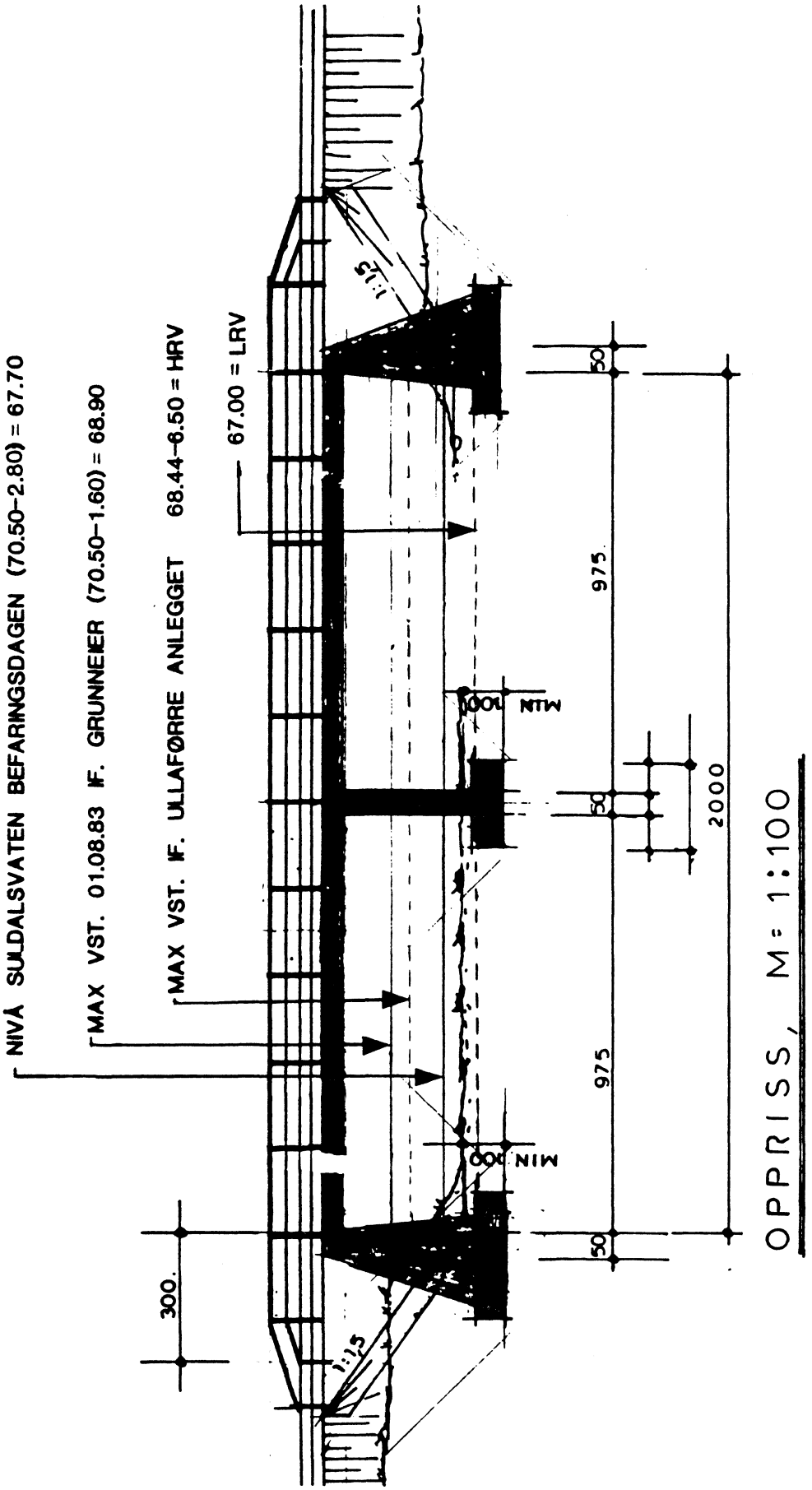


Fig. 18 Aktuelle vannstander ved brua.

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

BESTEMMENDE PROFIL OG VANNFØRINGSKURVE

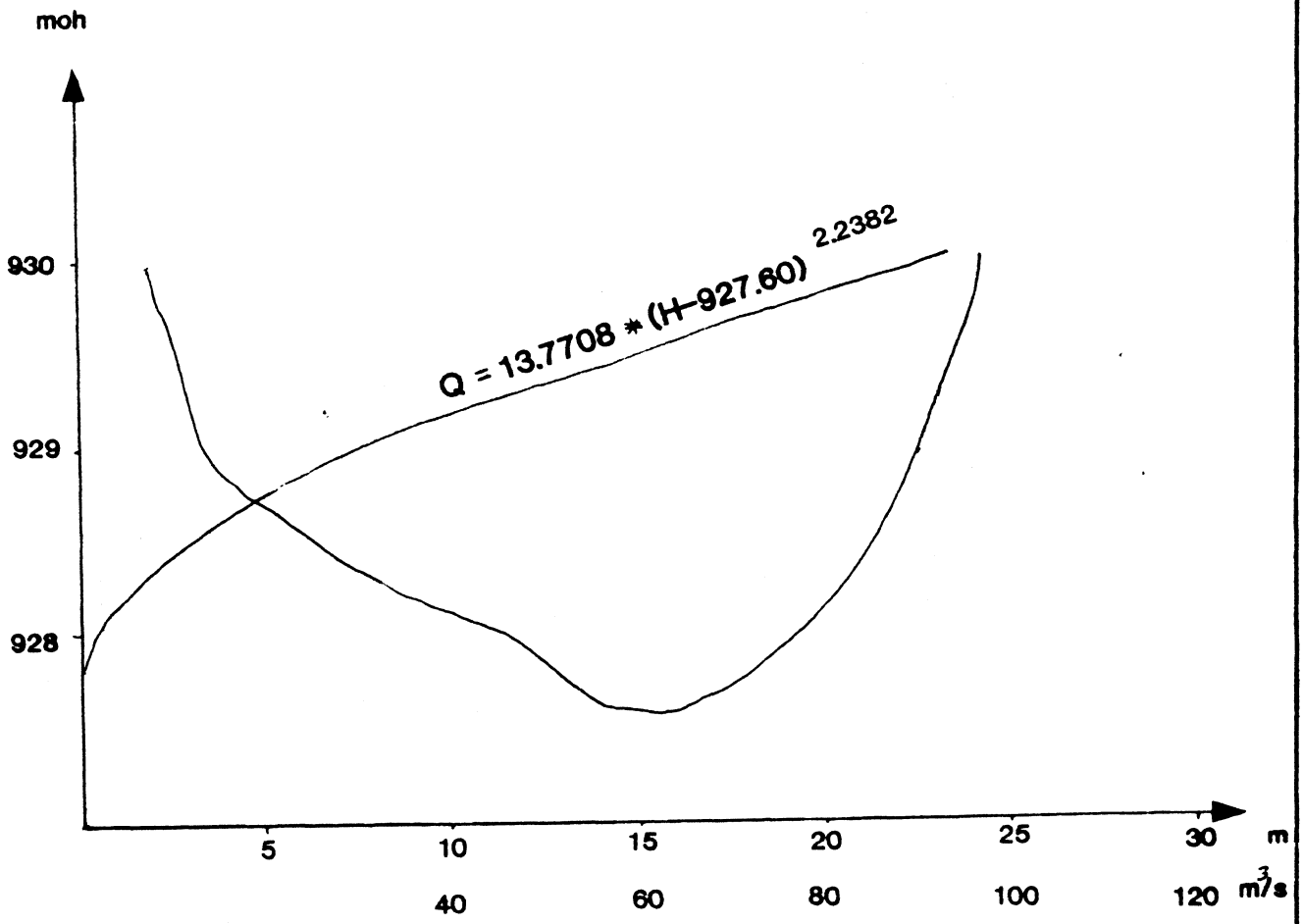


Fig. 19 Sandvatn - bestemmende profil og vannføringskurve.	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

BESTEMMENDE PROFIL OG VANNFØRINGSKURVE

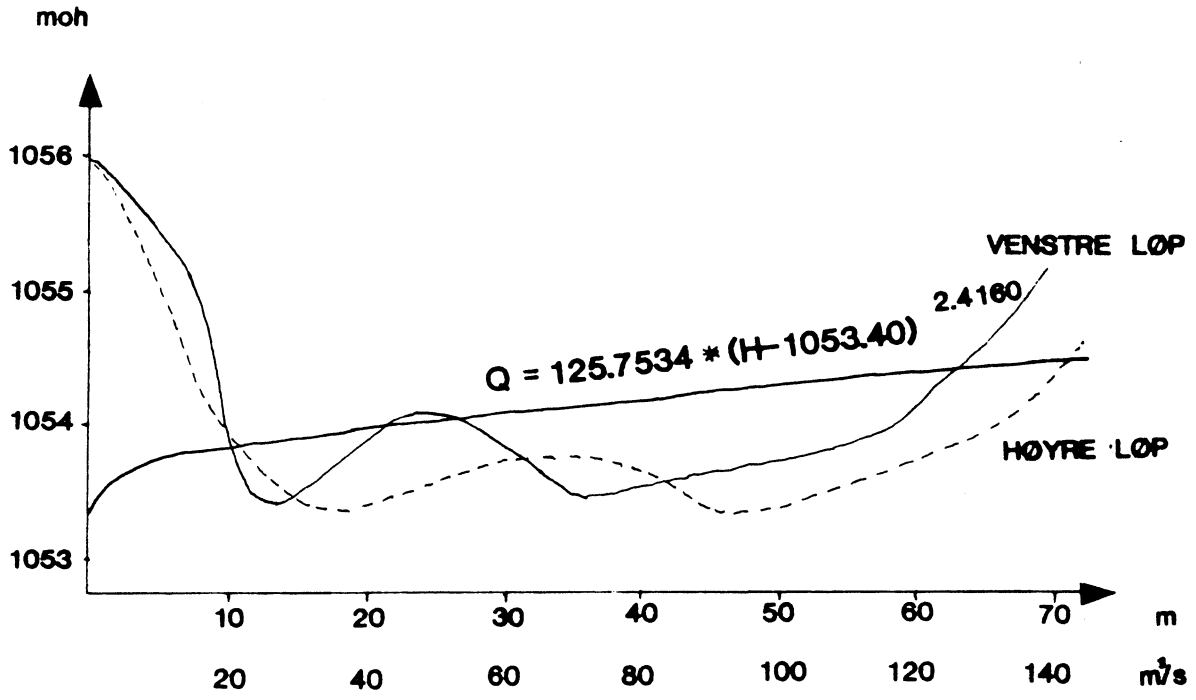


Fig. 20 Holmevatn - bestemmende profil og vannføringskurve.	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN HYDROLOGISK AVDELING		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.

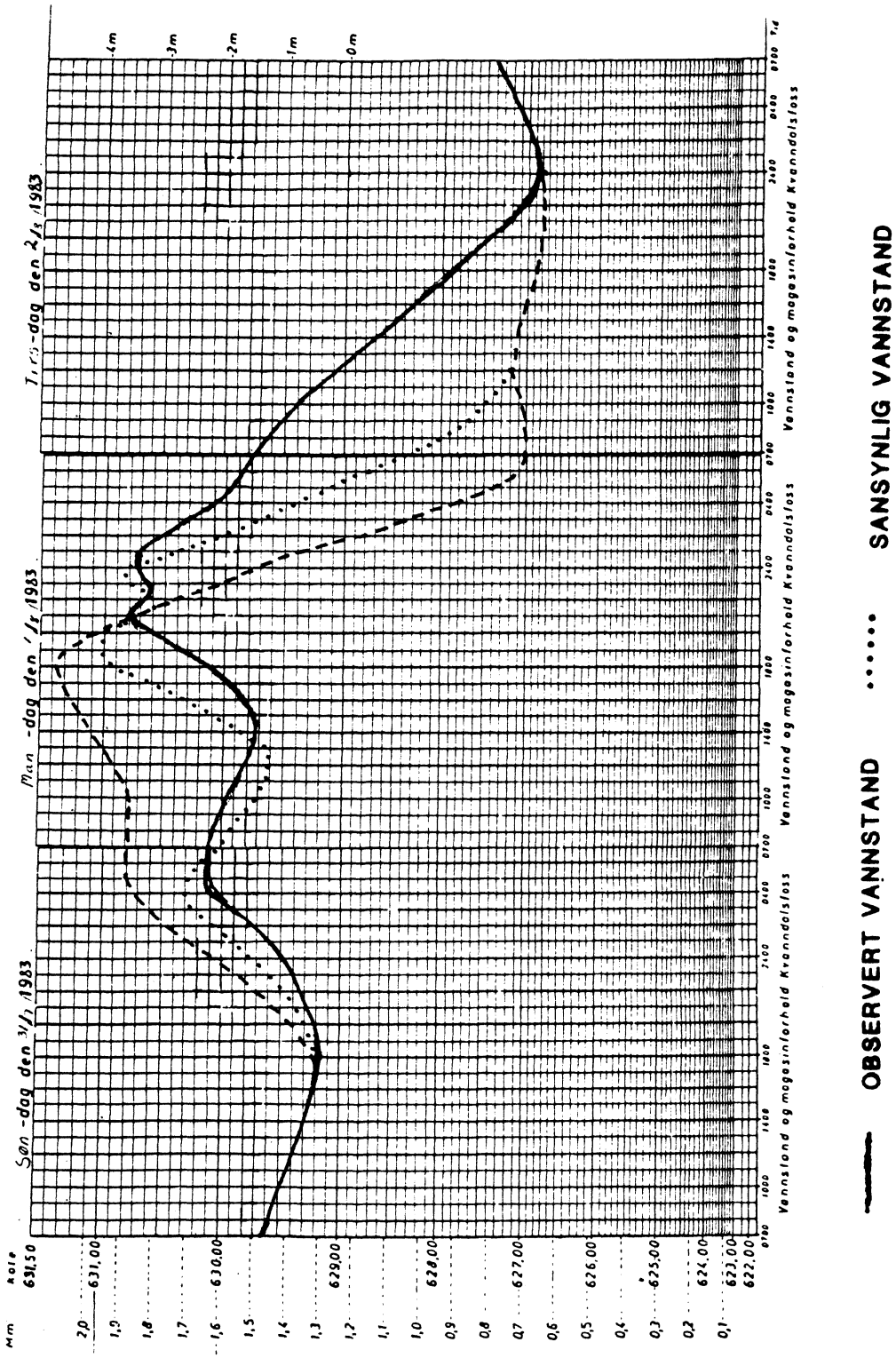


Fig. 21 Vannstand i Kvanndalsfoss magasin.

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN **HYDROLOGISK AVDELING**	Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
		Trac.	H
		Kfr.	
			Erst. av:

Bl. M-6155. 15.6.78.