METODER TIL BEARBEIDELSE AV HYDROLOGISK MATERIALE.

ved

Steinar Hafjord

Del I.

Innhold

Innledning.

1. Vannstandsobservasjoner.
2. Vassföringsmålinger.
3. Summasjonskurver.
4. Reguleringskurver.
5. Bestemmende reguleringskurver.

Del II.

Innhold

Innledning.

1. Naturlige reguleringskurver.(Teori og eksempel)
2. Reguleringsdiagram. (Konstruksjon med eksempel)
3. Anvendelse av reguleringsdiagram og naturlige reguleringskurver. (Teori og eksempel)

I n n l e d n i n g .

Det ville bare være en liten del av en elv's teoretiske kraft som kunne utnyttes om en skulle basere våre kraftstasjoner på de naturlige vassföringer. Lavvassföringen er i alt vesentlig bestemmende for utnyttinga av krafta og en öking (regulering) av denne er derfor som oftest nödvendig. En setter da opp en reguleringsplan. Denne kan en si har to sider :

1. En söker de regulerte vassföringer som svarer til bestemte magasinstörrelser.

2. En söker de magasiner som rent ökonomisk er de beste å bygge ut for.

En vil i det följende bare behandle punkt 1.

Det som er nödvendig for lösing av denne siden av reguleringsplanen, er tilgangen til et fyldig rent hydrologisk materiale.

Vannstandsobservasjoner.

Det er önskelig ved utarbeidelse av en reguleringsplan å ha mange års daglige vannstandsobservasjoner. Vannstanden blir avlest av Vassdragsvesenets faste observatörer en gang daglig ved vannmerkene. Vannmerkene består av en stang, med metrisk inndeling, som er festet på elvebredden, innivellert i forhold til et fastmerke.

Hvis vannstanden varierer meget i löpet av en dag er det önskelig å få kontinuerlige vannstandsobservasjoner. På slike steder nytter en automatiske vannstandsmålere - limnigrafer.

Vassföringsmålinger.

Til de forskjellige vannstander svarer forskjellige vassföringer. Har en således ved et vannmerke målt vannstanden og en tilsvarende vassföring en årrekke, kan en på grunnlag av dette materiale sette opp vannmerkets vassföringskurve og dens likning. Når kurven er bestemt trenges det egentlig bare vannstandsobservasjoner for å bestemme vassföringen, men forekommer det oppstuvning i en eller annen form må en foreta direkte vassföringsmålinger.

En regulering av vassföring vil före til en forandring i vannmagasineringen i en elv. Bestemmelse av de magasiner som er nödvendige for de forskjellige vassföringer er derfor nödvendig. Til dette benyttes de såkalte summasjonskurver.

Summasjonskurver.

De kontinuerlige vannstandsobservasjoner blir lagt til grunn for konstruksjon av summasjonskurvene. De til hver avlest vannstand svarende vassföring finnes ved å anvende vassföringskurven.

Ved Norges Vassdragsvesens Hydrologiske Avdeling benytter en så summen av 5 dagers vassföring som ordinat og tiden i dager som abscisse under konstruksjonen.

Da en sjelden tegner noen summasjonskurve for

observasjonsperioder mindre enn 10 - 15 år, kan et vanlig aksekors ikke benyttes. Vannmassesummene vil snart bli så store at en ikke kan beholdekurven innenfor papiret om en skal benytte den nödvendige målestokken (se fig.1)

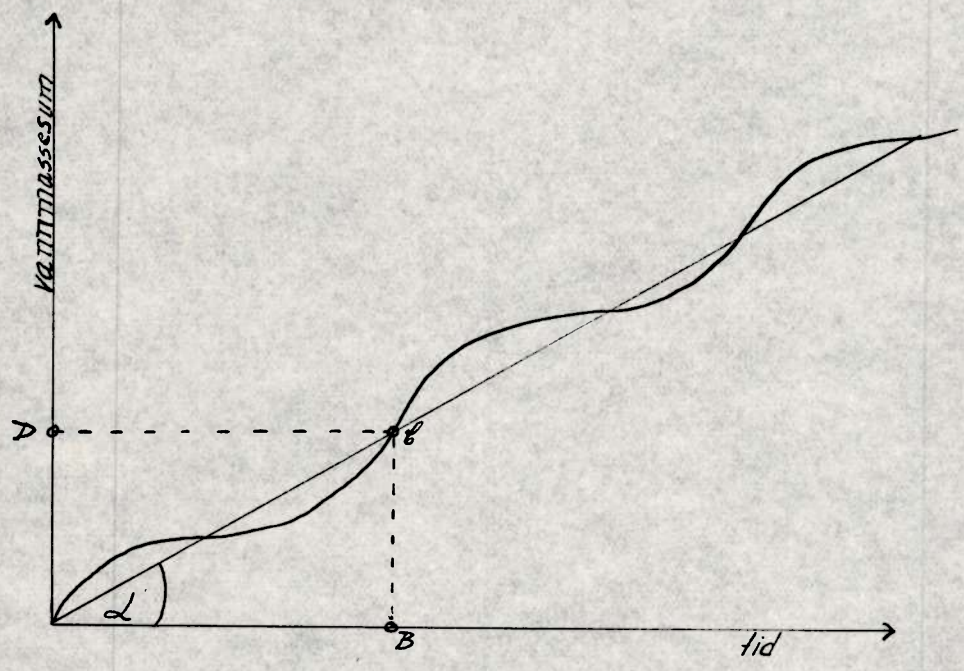


fig. 1.

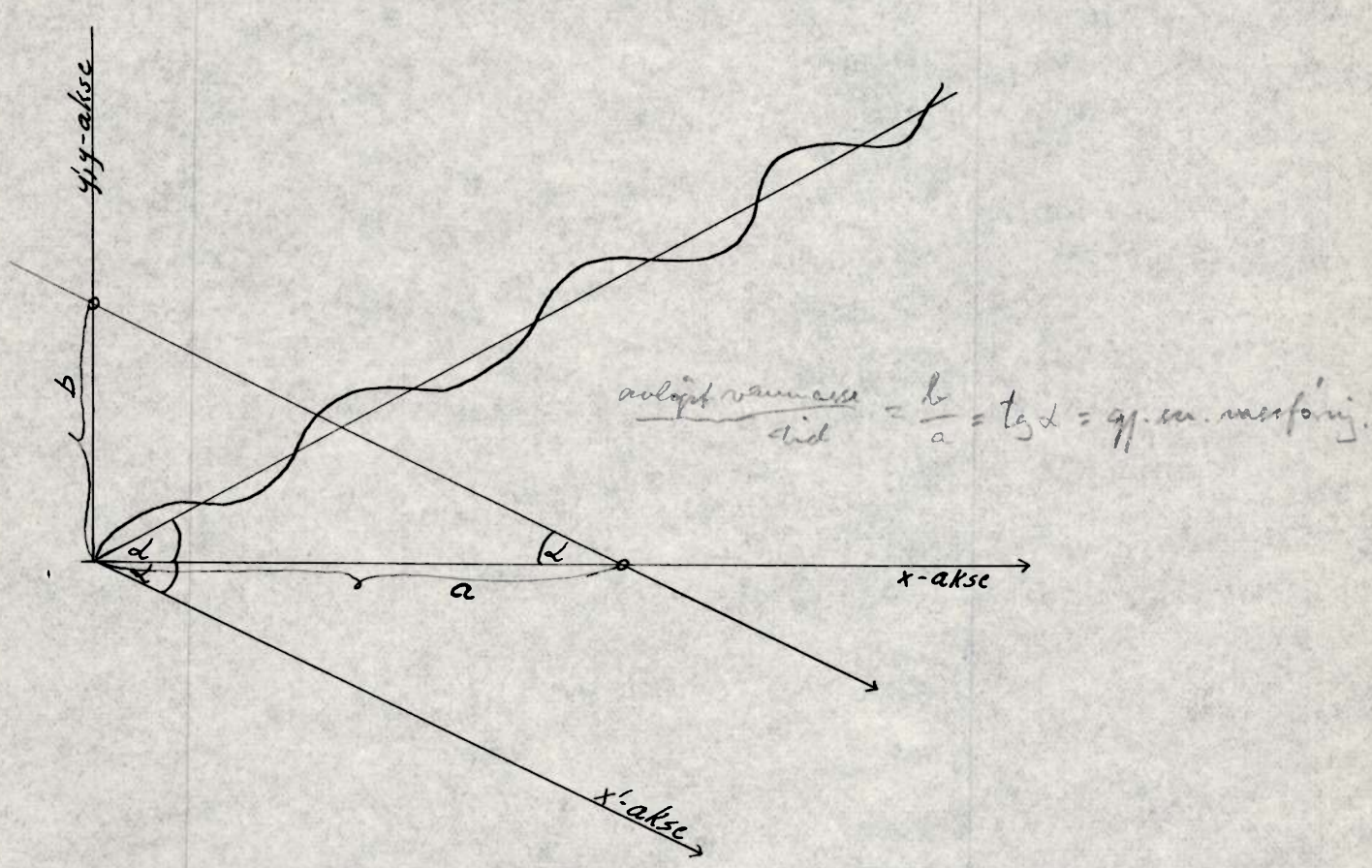
Av fig. 1 ser en at utjevningslinjen K har en retning hvis tangens er :

$$tg\,\alpha = \frac{BC}{DC} = \frac{\text{Vannmassesum}}{\text{tid}}$$

d.v.s. at tg α er lik gjennomsnittlig vassföring :
Denne vinkelen legger en til grunn ved valg av aksekors.

Av fig. 2 ser en hvordan en rent grafisk kan forklare dette. Kurven er sett opp i et rettvinklet aksekors og man finner retningslinjen for den gjennomsnittlige vassföring.

En dreier nå faktisk abscissaaksen en vinkel slik at retningslinjen for den gjennomsnittlige vassföring blir horisontal idet en beholder retningen av ordinataksen. Det nye aksekors blir da x' y' istedet for x - y se fig. 2.



Den gjennomsnittlige vassföring for observasjonsperioden blir unöyaktig om en skal bestemme den rent grafisk. I praksis bestemmer en vinkelen α på denne måten.

Först bestemmer en observasjonsperiodens gjennomsnittlige vassföring nummerisk. En velger så en vannmassesum, dividerer denne med den gjennomsnittlige vassföring og får den tid som er gått med for å avlöpe denne vannmassesum. Forbinder en nå punktet a for tiden og punkt b for den valgte vannmassesum, får en vinkel hvis tangens er lik den gjennomsnittlige vassföring. Alt etter de valgte målestokker vil en således få forskjellige helninger på x - aksen (skrålinjene) Ettersom x-aksen (skrålinjene) således er bestemt velges origo og en såkalt null-linje trekkes gjennom origo. For hver 50, 100 mill.m³ trekkes skrålinjer etter som konstruksjonen går frem (se fig.4).

Er observasjonsperioden for kort, og hvis den gjennomsnittlige vassföring avviker betydelig fra gjennomsnittet av en lenger periode, vil det være uheldig å tegne opp kurven på grunnlag av denne gjennomsnittsverdi da kurven har lett for å gå utenfor det papiret en har til rådighet. I slike tilfeller finner en den gjennomsnittlige vassföring ved å sammenlikne vassdraget med et nabovassdrag med tilsvarende hydrologiske forhold. Dette gjöres på följende måte : I et aksekors avsettes f.eks. som abscisse avlöpet i mill.m³ pr.år for det vassdrag en vil sammenligne med (s) og som ordinat (x) avlöp pr.år for det vassdrag en söker den gjennomsnittlige vassföring (x). En får da en punkskave som har större eller mindre spredning. Men er der god overensstemmelse mellom vassdragene vil de gruppere seg om en kurve. (Se fig. 3)

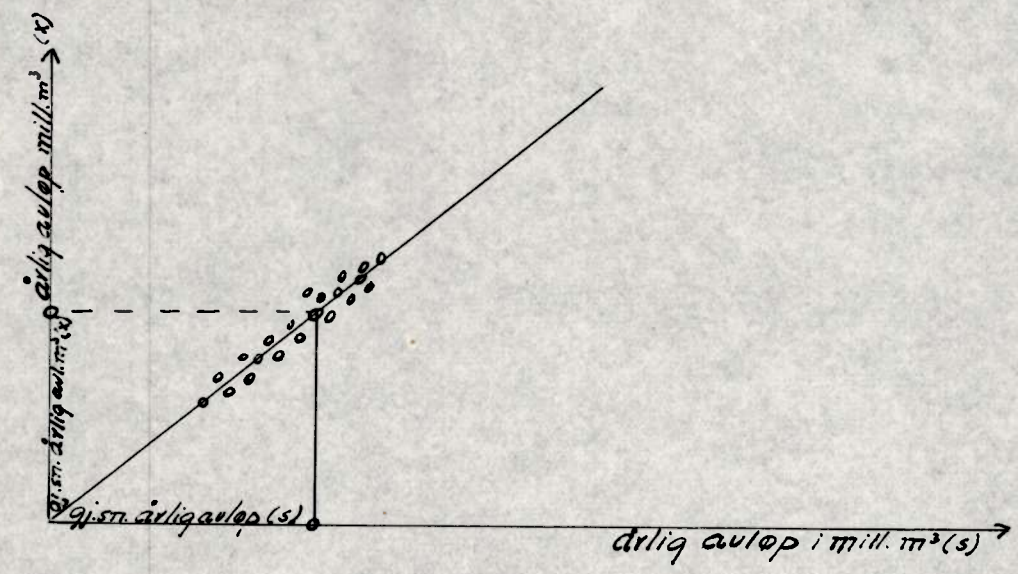


fig. 3

Nå vet en den gjennomsnittlige vassföring for det vassdraget en sammenligner med og finner da lett det årlige gjennomsnitt. Av fig 3 kan en da ta ut et tilsvarende årlig avlöp for det aktuelle vassdrag og dermed finne det gjennomsnitt en skal konstruere summasjonskurven for. (Se fig 3) Vassdragsvesenet regner fot gjennomsnittlig vf. i perioden 1911 - 1950.

Fig. 4 viser en del av summasjonskurven for Lysvatn i Lyselv vannmerke nr.944.
Tangentenes helning i et hvert punkt på kurven se fig. 4 representerer vassföring på tilsvarende tidspunkt da jo

$$dq : dt = tg\alpha = \frac{\text{tilvekst i vannmasse}}{\text{tilvekst i tid}}$$

En trekker nå en linje for vassföring 0.00 m³/s (en såkalt null-linje). A C for vassföringen i punktet A. I tiden fra A - B vil da med jevn vassföring av 6.8 m³/s avlöpe en vannmasse C D. Tilläpet i denne tiden har vært C B og följelig må der skaffes et tilskudd fra magasinet lik B D. Trekkes derfor tangentene A D og E B i begynnelsen og slutten av vedkommende lavvannsperiode får en magasinet direkte ved å trekke linjen A E = D B. Magasinet blir som en ser A E.

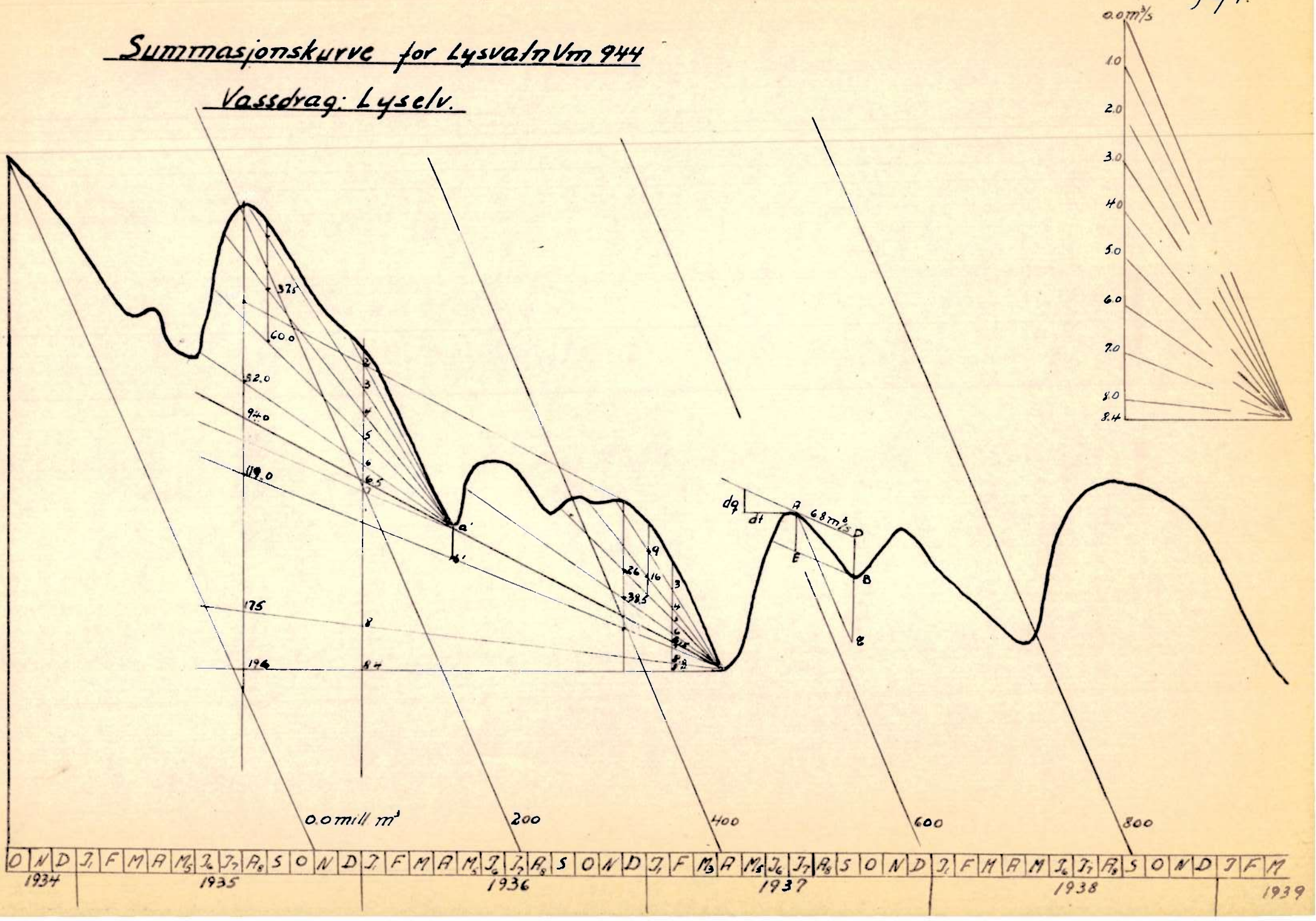
Tegner en opp retningslinjene for hver vassföring til og med den gjennomsnittlige får en tapningsskjema (se fig. 4.) På fig. 4 er de forskjellige vassföringer notert til höyre og magasinet til venstre på hver spiral.

fig 4

fig 4.

Summasjonskurve for Lysvatn Vm 944

Vassdrag: Lyselv.



Reguleringskurver.

Setter en opp de fremkomne magasiner grafisk sammen med de tilsvarende vassföringer får man de såkalte reguleringskurver.

Tar en for seg året 1936-37 (se fig. 3) ser en at til vassföringen 3 m³/s svarer et magasin 9 mill.m³. Det vil si at om en skal holde en jevn vassföring av 3 m³/s hele dette året må en ha et tilskudd fra magasinet på 9 mill.m³. For vassföringer til og med 6.5 m³/s har en magasin nok i det gjeldende år. Men kommer en over 6.5 m³/s ser en at en må ta året i forveien til hjelp om en skal kunne holde denne vassföring. En foretar en overföring av vann fra et gunstig til et mindre gunstig år. En ser av fig.3 störrelsen a'b' av den vannmengde som blir overfört. Kommer flere ugunstige år etter en annen, kan en få flere overföringer. Den oversiktlige tabell (fig. 5 og 5) som er tatt ut av summasjonskurven, viser også disse overföringer ved hjelp av piler.

Disse tabeller blir satt opp grafisk og gir da reguleringskurvene.

Reguleringskurvene kan settes opp på forskjellige måter :

1. En benytter vassföring målt i m³/s og magasin i mill.m³. henholdsvis som abscisse og ordinat.
2. En benytter regj vassföring i % av gjennomsnittlig vassföring som abscisse og magasin i % av midlere årlig tilløp.
3. Reg.vassföring blir her uttrykt i liter pr.sek. og magasinet i mill.m³, begge pr.km² av nedbörområdet. De to siste er de egentlige reguleringskurver. (se overing. Rogstad vannstandsobservasjoner 1914).

Metode nr. 2. benyttes ved storre reguleringer, da den regulerte vassföring som oppnåes da blir mer avhengig av den gjennomsnittlige som også er grensen for den regulerte.

Metode nr. 3. brukes ved små reguleringer da den regulerte - er lite forskjellig fra den uregulerte vassföring.

Lavvassföringen og lavvannsperiodens lengde er avgjörende for magasin-störrelsen. Men lavvassföringen er videre sterkt avhengig av nedbörområdets störrelse. Tredje metode vil derfor passe best i slike tilfeller. Fig. 8 viser reguleringskurver for Lysvatn, Lyselv V.M.944 satt opp etter metode 2.

Lyselv

Lysvatn

fig 5

Magasin i mill. m³

Vassføring i sm³

sm³	1935 – 36	1936 – 37	1937 – 38	1938 – 39	1939 – 40	1940 – 41	1941 – 42	1944 – 45	1945 – 46	1946 – 47	1948 – 49	1948 – 49	1949 – 50
2	9.0			5.0	2.0								
3	19.0	9.0	3.0	16.0	8.5	4.5	5.5	3.0		2.5	2.0		1.5
4	37.5	16.0	7.5	29.0	17.0	13.0	16.5	15.5	2.0	8.5	7.0	2.5	8.5
5	60.0	26.0	14.0	43.0	26.0	23.5	32.0	27.0	4.0	17.5	14.0	4.5	22.0
6	82.0	38.5	23.4	60.5	41.0	34.0	48.5	42.0	9.5	28.0	23.5	6.0	35.0
7	104.5		37.0	78.0	56.5	50.5	65.0	56.0	17.0	39.0	33.0	9.0	50.0
	119.0	→											
8	128.5		50.0	101.0			81.50	75.0	33.0	49.0	43.0	12.0	65.0
	175.0	→											
	182.0	→	→	→	→								
	194.0	→	→	→	→	→	→						
8.4	138.5		57.50				87.5	83.0	43.0	54.0	48.0	15.0	72.0
	196.0	→											
	220.5	→	→	→									
	243.0	→	→	→	→								
	263.0	→	→	→	→	→	→						
midlvf	5.8	6.5	8.6	7.4	7.7	7.7	10.3		8.6	10.4	9.0	11.9	10.5
mag.	78.0		62.5	87.0			120.0		50.0	75.0	54.0	44.5	105.0
	94.0 ●—45→												
				94.5	●—72→								
				94.5	○—72—○	—70→							

Lyselv

Lysvatn

Magasin i % av 265.44 mill. m.³

fig 6

Vassføring i % av 8.4 sm³

	1935 36	1936 37	1937 38	1938 39	1939 40	1940 41	1941 42	1944 45	1945 46	1946 47	1947 48	1948 49	1949 50		Bestemmende regulering
23.75	3.40			1.88	0.76										
35.75	7.20	3.40	1.20	6.05	3.20	1.70	1.88	1.20	0.76	0.94	0.76		0.57		6.05
47.75	14.20	6.05	2.80	11.00	6.40	5.10	6.22	5.80	1.51	3.20	2.65	0.94	3.20		11.00
59.50	22.50	9.85	5.30	16.20	9.80	8.85	12.10	10.20	3.60	6.70	5.30	1.70	8.30		16.20
71.50	31.00	14.50	8.80	23.00	15.45	12.80	18.30	15.90	6.45	10.60	8.90	2.25	13.20		23.00
83.00	39.50		14.00	29.50	21.35	19.10	24.50	21.20	6.45	14.75	12.50	3.40	19.10		39.50
	45.00 →														
95.00	48.50		18.90	38.00			30.75	28.40	12.50	18.50	16.20	4.30	24.50		69.00
	66.00 →														
	69.00 →														
	73.50 →														
100.00	52.00		21.60				33.25	31.40	16.20	20.40	18.10	5.65	27.20		92.00
	74.00 →														
	83.00 →														
	92.00 →														
	99.50 →														
Midlvf	69.0	77.5	102.70	88.00	92.00	92.00	122.00		103.00	123.80	107.10	141.60	125.00		
Mag.	29.50		23.60	33.00		26.50	45.50		19.10	28.30	20.40	16.80	38.60		
	35.50	16.5		35.60	27.20										
				35.60	27.20	26.50									

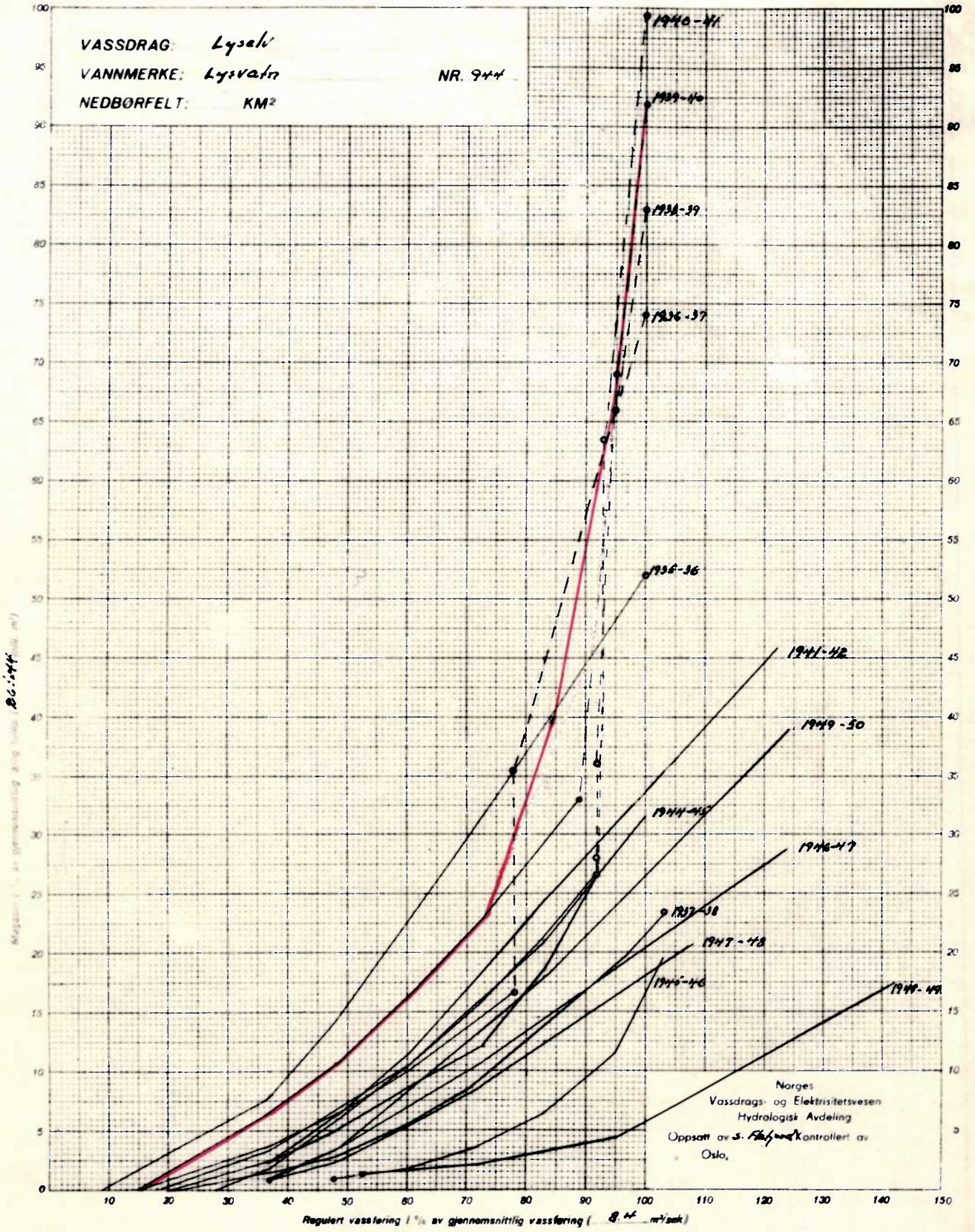
Bestemmende reguleringskurve.

Av denne samling reguleringskurver skal en nå ta ut den bestemmende reguleringskurve (den kurve som skal legges til grunn for en regulering). Ved Vassdragsvesenets hydrologiske avd. gjör en nå dette på följende måte.

For observasjonsperioder på til og med 10 år benyttes de ugunstigste magasiner en finner blant kurvene, for perioden til og med 15 år det nest ugunstigste og fra 15 - 25 år det tredje ugunstigste.

I oversiktstabell fig. 6 for Lysvatn er magasinene for den bestemmente reguleringskurve satt opp lengst til höyre, og på fig. 8 finner en den tilsvarende kurve tegnet i rödt.

fig 7


VASSDRAG: Lysely
VANNMERKE: Lysvatn
NR. 944
NEDBØRFELT: KM²
1940-41
1939-40
1938-39
1936-37
1935-36
1941-42
1949-50
1944-45
1946-47
1937-38
1947-48
1946-46
1948-49
Norges
Vassdrags- og Elektrisitetsvesen
Hydrologisk Avdeling
Oppsatt av S. Flatøen kontrollert av
Oslo,
Regulert vassføring i % av gjennomsnittlig vassføring (8.44 m³/sek)

Del II

INNLEDNING.

Etter at et vassdrag er regulert, er det ofte önskelig å kunne rekonstruere den naturlige vassföring i vassdraget. Dette kan gjöres etter en teori utarbeidet av overingeniör R. Sögnen [1] Teorien bygger på den naturlige reguleringsevne i de innsjöer som er blitt regulert. Denne teori er i alt vesentlig gjengitt i det II og som eksempel på anvendelse av teorien har jeg valgt Lundevatn i Siravassdraget.

[1] Beregning av sjøers naturlige reguleringsevne og flommer i norske vassdrag.

Vassdragenes naturlige reguleringsevne.

Et vassdrags naturlige reguleringsevne kan ved en regulering helt eller delvis oppheves. Det er derfor av stor betydning å ha beregnet selvreguleringen för en setter i gang en utbygging. En kan da lettere bedömme reguleringens virkning etter utbyggingen.

Nedbörfeltets sjöareal og sjöenes avlöpsprofil er de viktigste faktorer for selvregulering og karakteriseres ved profilets vassföringskurve.

I et tidsintervall $t_1 - t_2$ forandres avlöpet ved en given tillöpsforandring med Δq m³/s:

$$\Delta q = (q_2 - q_1) \text{ m}^3/\text{s} \qquad (1)$$

hvor q_2 og q_1 er vassföringa ved tiden t_2 og t_1

Gjennomsnittsvassföringa i denne tiden blir nå en betegner den med q_m

$$q_m = 1/2 \ (q_1 + q_2) \text{ m}^3/\text{s} \qquad (2)$$

Av (1) og (2) får en at

$$q_m = (q_1 + 1/2 \ \Delta q) \text{ m}^3/\text{s} \qquad (3)$$

Betegnes tillöpet i tidsintervallet t med q_t så vil sjöen magasinere

$$Q = (q_t \pm q_m) \Delta t \text{ mill. m}^3 \qquad (4)$$

hvor Q betegner magasinet.

Er nå sjöens areal A km², fåes en vannstandsvariasjonen i sjöen

$$\Delta h = \frac{Q}{A \cdot 10^6} \text{ m} = \frac{Q}{A \cdot 10^4} \text{ cm} \qquad (5)$$

Av likning 3,4 og 5 får en:

$$\Delta h = \frac{(q_t - q_m) \Delta t}{A \cdot 10^4} = \frac{(q_t - q_1 - 1/2 \Delta q) \Delta t}{A \cdot 10^4} \text{ cm.} \qquad (6)$$

Av uttrykket for vassföringskurvens helning (se fig.1)

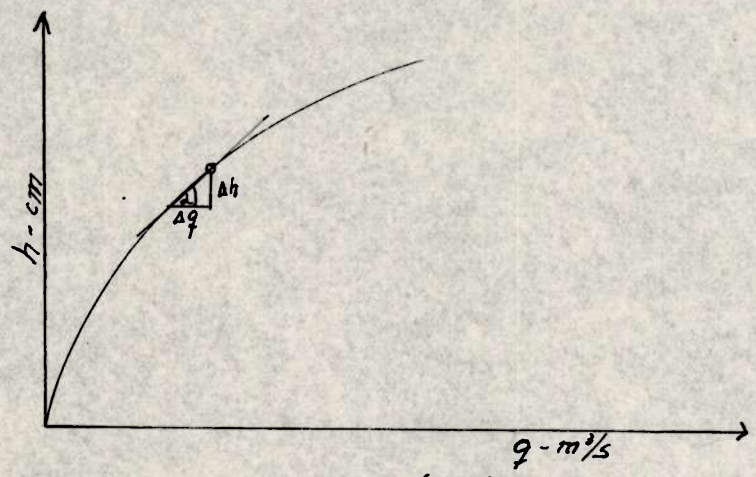


fig. 1.

fåes: $\underset{\Delta h \to 0}{tg\alpha} = \frac{\Delta h}{\Delta q}$

d.v.s. $\Delta h = \Delta q \cdot tg\alpha$ (7)

og $\Delta q = \frac{\Delta h}{tg\alpha}$ (8)

Settes Δh fra (6) inn i (8) fåes

$$\Delta q = \frac{(q_t - q_1 - \frac{q}{2})}{tg\alpha \; A \cdot 10^4} \Delta t$$

d.v.s.

$$\Delta q = \frac{\Delta t \; (q_t - q_1)}{tg\alpha \cdot A \cdot 10^4 + \frac{\Delta t}{2}} \; m^3/s \qquad (9)$$

og

$$\Delta h = \frac{\Delta t \; (q_t - q_1) \; tg\alpha}{tg \quad A \cdot 10^4 + \frac{\Delta t}{2}} \qquad (10)$$

Fjerner en her leddet $(q_t - q_1)$ i likning (9) og (10) får en likningene :

$$K_1 = \frac{\Delta t}{tg\alpha \; A \cdot 10^4 + \frac{\Delta t}{2}} \qquad (11)$$

$$K_2 = \frac{\Delta t \; tg\alpha}{tg\alpha \; A \cdot 10^4 + \frac{\Delta t}{2}} \qquad (12)$$

Dette er de såkalte naturlige reguleringskurver.

Alt etter de tidsintervaller en velger, får en forskjellige uttrykk for K_1 og K_2.

Velges avlöpstiden til et dögn, får en dögnkurven :

$$K_1 = \frac{86\,400}{tg\alpha \cdot A \cdot 10^4 + 43200} = \frac{8.64}{tg \cdot A + 4.32} \qquad (13)$$

Velges den derimot til 1 time fåes :

$$K_1 = \frac{0.36}{A \cdot tg\alpha + 0.18} \qquad (14)$$

Nöyaktighetsgraden for den naturlige reguleringskurve er den samme som for sjöens vassförings- og arealkurve, og detaljeringene behöver en ikke gjöre bedre enn for disse kurver. Foretaes vannstandsobservasjonene en gang i dögnet, må sjöens dögnkurve benyttes.

Det hender at K > 1. Det betyr at sjöens naturlige regulerings evne er så liten at avlöpet når opp i tillöpet innen utlöpet av det valgte tidsintervall. Skal sjöens utjevning av tillöpet deltajeberegnes i et sådant tilfelle, må tidsintervallet velges kortere f.eks. 1 time.

For å bestemme den naturlige reguleringskurve trenger en en vassföringskurve og en arealkurve for sjöen.
Hvis vassföringskurvens likning er kjent får man $tg\alpha = \frac{dh}{dq}$ ved å derivere likningen. Er ikke vassföringskurvens likning kjent, velger en en vannstandsvariasjon Δh og den tilsvarende Δq Tangentens helningsvinkel fåes som middelet av helningsvinkelen for kordene gjennom punktene h og $(h + \Delta h)$ samt h og $(h + \Delta h)$ (se fig. 2^b). Sjöarealet tar en ut for vannstanden $h + \frac{1}{2} \Delta h$.

Som eks. har jeg tatt Lundevatn v.m. 565, hvis likning for vassföringskurve jeg har funnet å være

$$q = 96 \cdot 10^{+7} \; (H - 40)^{2 \cdot 4} \qquad (15)$$

Deriveres denne likning med hensyn på q og ordnes får en

$$\frac{dh}{dq} = \frac{1}{96 \cdot 10^{+7} \; 2,4 \, (h - 40)^{1 \cdot 4}} \qquad (16)$$

I tabell fig. 3 er de nödvendige störrelser for konstruksjon av de naturlige reguleringskurver for Lundevatn v.m. satt opp og fig. 4 viser disse kurver. Jeg har under konstruksjonen satt $\Delta h = 1$ m. og tidsintervallet er 1 dögn.

tabell fig. 3

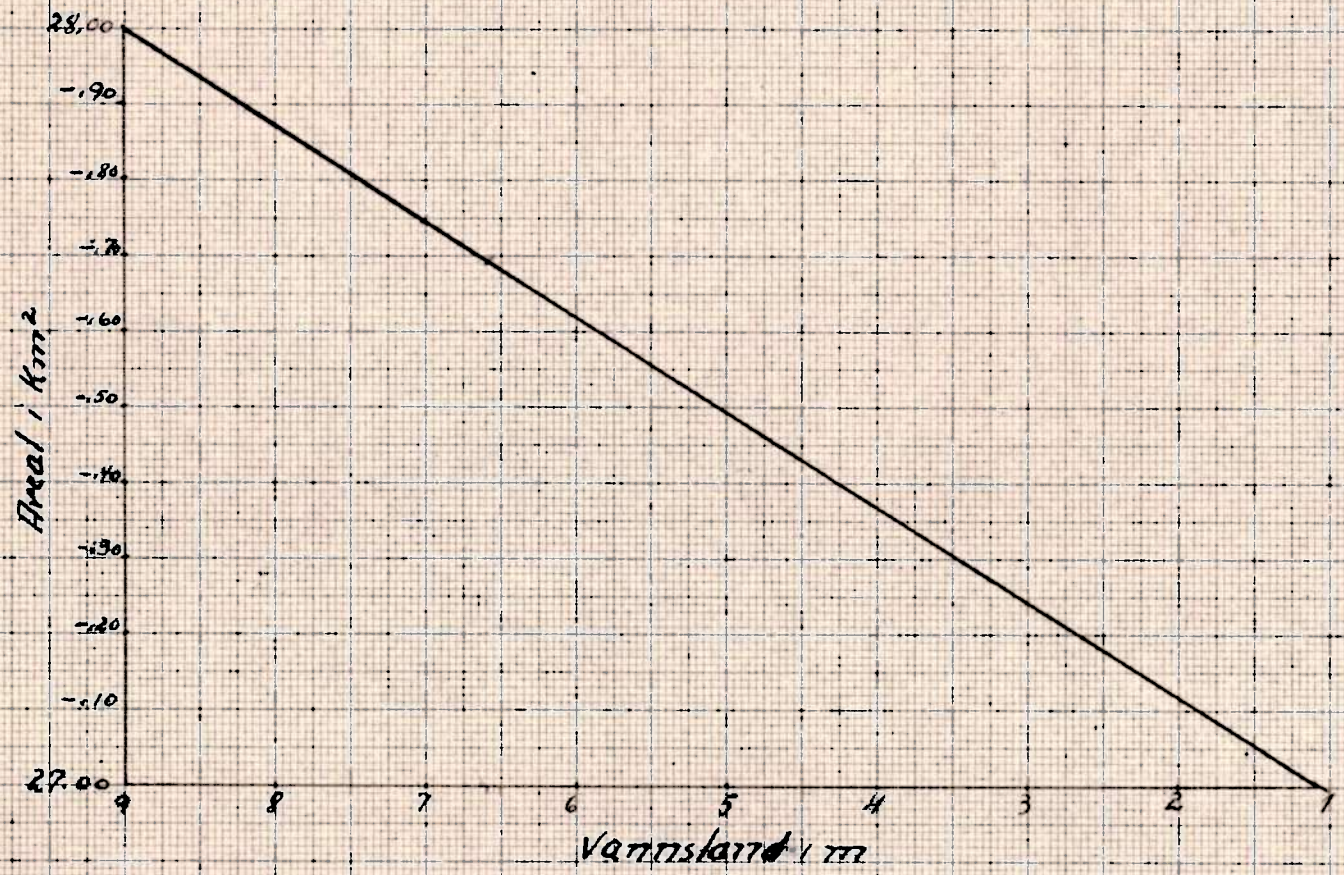
V.st. h i m	$\frac{1}{0.0000096(h-40)^{1.4}} = tg\alpha$	Areal A = km²	$tg\alpha \cdot A$	$K_1 = \frac{8.64}{tg\alpha \, A + 4.32}$	$K_2 = tg\alpha \, K_1$
1.0	6.00	27.0	162.1	0.052	0.312
2.0	2.43	27.1	65.9	0.123	0.298
3.0	1.41	27.3	39.5	0.197	0.278
4.0	0.95	27.4	26.0	0.285	0.270
5.0	0.70	27.5	19.3	0.366	0.256
6.0	0.55	27.6	15.2	0.444	0.244
7.0	0.44	27.7	12.2	0.523	0.230
8.0	0.37	27.9	10.3	0.591	0.217
9.0	0.31	28.0	8.7	0.664	0.206

Arealkurve for Lundevatn

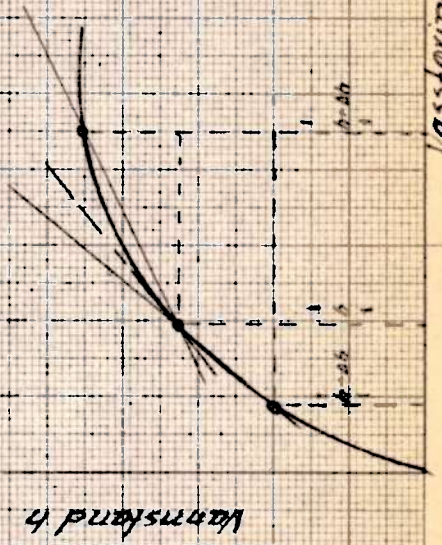
ved

Vst. (1-9) m

fig 2a



Vassføringskurve fig 2b



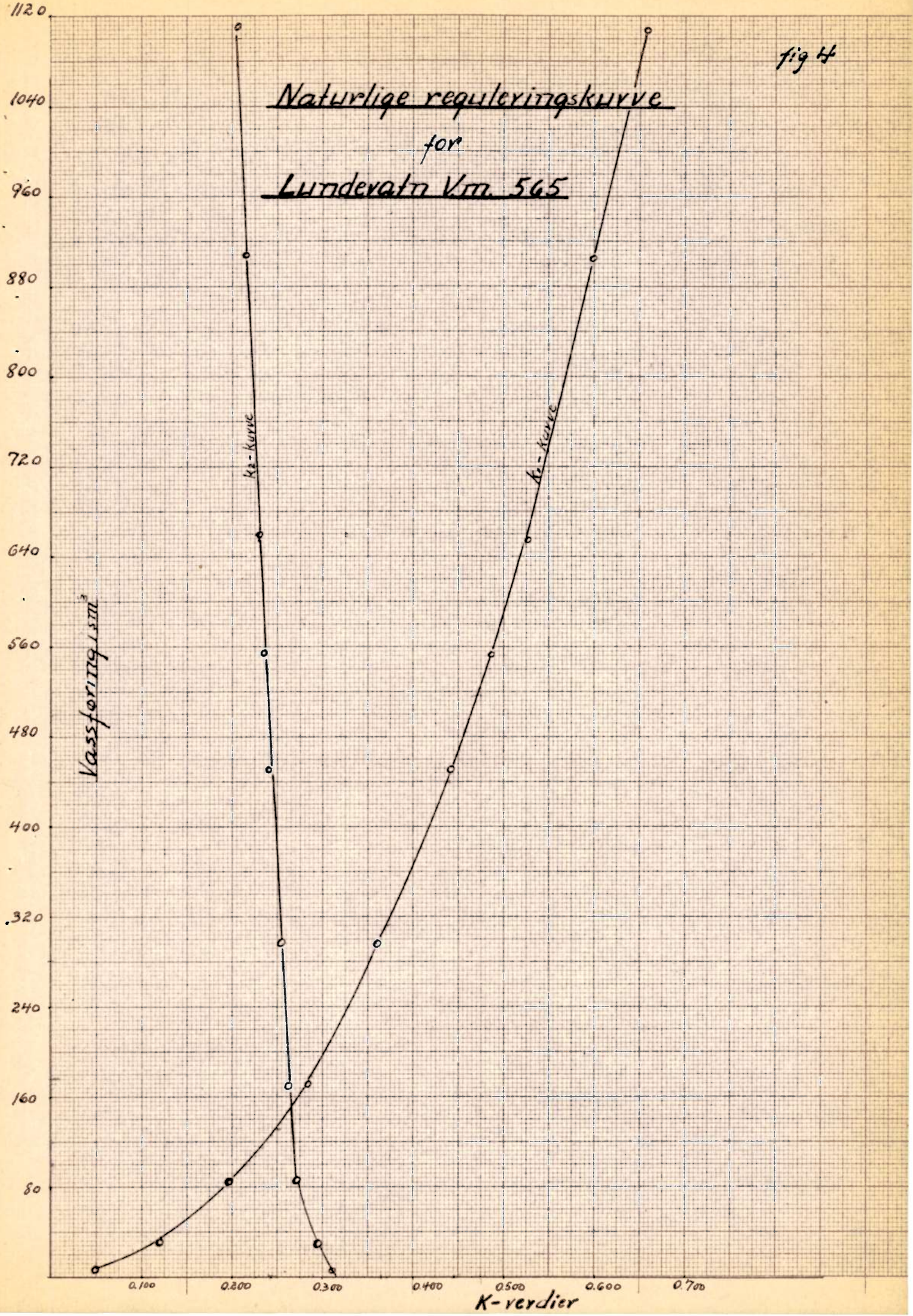


fig 4
Naturlige reguleringskurve
for
Lunderatn Vm. 565
1120
1040
960
880
800
720
640
560
480
400
320
240
160
80
Vassføring l/sm³
k2-kurve
k1-kurve
0.100
0.200
0.300
0.400
0.500
0.600
0.700
K-verdier

Tallverdiene for tg α er beregnet ved hjelp av likning (16) og verdiene for arealet A er tatt ut av arealkurven for Lundevatn fig. 2.

Tillöpet q_t i formlene (9) og (10) betegner det gjennomsnittlige tillöp i det valte intervall og en variasjon i det öyeblikkelige tillöp i intervallet har derfor ingen betydning. I visse tilfelle har det interesse å beregne sluttresultatet over flere intervaller.

Er tillöpet konstant i alle intervaller får en

$$q_n = q_o + \Sigma \Delta q$$

$$q_1 = (q_t - q_o) K$$

. . . . . .

$$\Delta q_n = (q_t - q_o) K (1-k)^{n-1}$$

$$\Sigma \Delta q = (q_t - q_o)[K + K(1-K) + K(1-K)^2 \ldots K(1-K)^{n-1}] = (q_t - q_o)(1-(1-K)^{n-1})$$

Av dette $$q_n = q_o + (q_t - q_o)(1-(1-K)^{n-1} \qquad (17)$$

Reguleringsdiagrammer.

Sjöens utjevning av tillöpet kan også finnes helt grafisk. Den naturlige reguleringsevne fremstilles da som et diagram med tillöp q_t som abscisse, avlöpet ved intervallets begynnelse som ordinat og avlöpet ved intervallets slutt som en kurveskare. En velger da en bestemt situasjon ved intervallets begynnelse d.v.s. en bestemt vannstand h og den tilsvarende vassföring q_1. Videre velges vannstandsvariasjonen Δh og en får dermed vannstanden $h + \Delta h$ og vassföringen $q_2 = q_1 + \Delta q$ ved slutten av intervallet. Tillöpet som skaper situasjonsendringen finnes av likninga :

$$q_t = \frac{1}{2}(q_1 + q_2) \pm \frac{\Delta M}{\Delta t} \text{ m}^3/\text{s} \qquad (18)$$

hvor q_t er gjennomsnittstillöpet i intervallet Δt og ΔM er magasinvariasjonen i den samme tid. For å få en kurveskare som omfatter alle de situasjoner (variasjonen i h) som forekommer i sjöen, velges flere utgangspunkter.

Jeg har for Lundevatn v.m. 565 satt opp en slik kurveskare og jeg gikk frem på følgende måte :

Da forskjellen mellom högste og minste vannstand er ca. 8 m i Lundevatn, valgte jeg å tegne opp kurvene for en vannstandsendring på 1 m. pr. dögn. En får da tabell fig. 5 for konstruksjon av kurveskaren. Störrelsene $q_m = \frac{q_1 + q_2}{2}$ og ΔM finnes henholdsvis ved hjelp av vassföringskurve fig. 6 og arealkurven fig. 2

ΔM bestemmer en slik : Skal en finne ΔM for vannstandsendringen fra (2 - 3) m (se arealkurven fig. 2) legger en sammen arealene ved 2 og 3 m og dividerer denne med 2 og multipliserer med h = 1 m. Deretter divideres det en får ut med antall sek. i dögnet.

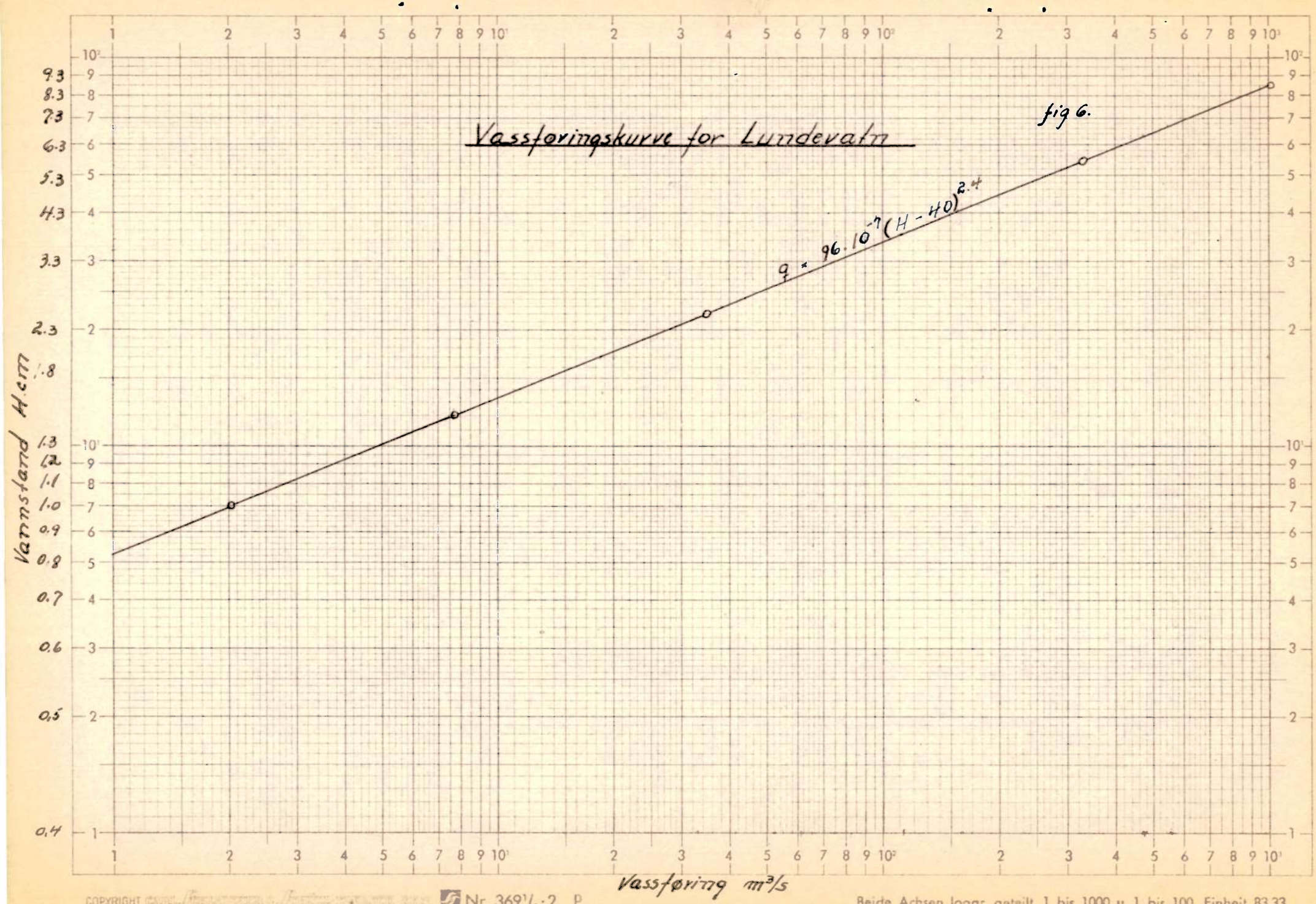
Kurveskarens akse går gjennom de punkter der $q_1 = q_t$ (d.v.s. $\Delta h = 0$) og blir en rett linje se fig. 7 De såkalte styrelinjer fremkommer ved å sette av punktparene (q_1 / q_t) for alle de Δh som er like f.eks. for $\Delta h = -1$ punktparene (19.20,-302.95), (58.60, - 274.65), (128.00,-221.60)o.s.b og for h= 2 (19.20, 704.60) (58.6, 775.10) og 128.0 - 882.2) m.videre. Se tabell fig. 5

Etter at styrelinjene således er bestemt skal kurveskaren for q_2 = avlöpet i slutten av intervallet, her 1 dögn bestemmes. En vil f.eks. bestemme kurven for q_2 = 500 m³/sek. Ett punkt på denne kurven finner en lett på kurveskarens akse $\Delta h = 0$ hvor jo $q_1 = q_2$ se fig. 5 Kan en nå bestemme skjæringspunktene mellom denne kurve og styrelinjene, kan en trekke opp q_2 - kurven. (500 m³/s. - kurven). Skal skjæringspunktet mellom denne kurve og styrelinjen $\Delta h = +1$) bestemmes, tar en ut vassföringen for en vannstand som er 1 m mindre enn for 500 m³/s.
For 500 m³/s finnes en vannstand h = 6.76 m. se vassföringskurven fig. 6 En finner dessuten q_1 = 330 m³/s for vannstanden 5.76 m. Punktet med ordinat 330 m³/s og som ligger på styrelinjen h = + 1 er da et punkt på 500 m³/s - kurven. Skjæringspunktene mellom denne kurve og de andre styrelinjene bestemmes på tilsvarende måte og kurven kan trekkes opp. (se fig. 7)

fig 5

Beregna storrelser for opptrekking av regulerings diagram for Lundevatn.

Utgangs situa-sjoner	$h_1 - h_2$ i m	Δh i m	$q_m = \frac{q_1 + q_2}{2}$ m^3/s	ΔM pr dogn i m^3/s	$q_t = q_m \pm \frac{\Delta M}{7}$ i m^3/s	Utgangs-situa-sjoner	$h_1 - h_2$ i m.	Δh i m	q_1 = avlop i m^3/s
I						I			
$h_1 = 2m$	2-1	-1	10.25	-313.50	-302.65	$q_2 = 800 m^3/s$	9.0 - 8.0	-1	1085.-
$q_1 = 192 m^3/s$						$h_2 = 8.0 m$			
	2-3	+1	38.25	313.20	352.45		7.0 - 8.0	+1	550.-
	2-4	+2	74.00	630.40	704.60		6.0 - 8.0	+2	370.-
II						II			
$h_1 = 3m$						$q_2 = 700 m^3/s$	8.70 - 7.70	-1	960.-
$q_1 = 58.6 m^3/s$	3-2	-1	38.25	-314.20	-274.65	$h_2 = 7.70 m$			
							6.70 - 7.70	+1	490.-
	3-4	+1	93.00	316.40	409.20				
							5.70 - 7.70	+2	323.-
	3-5	+2	144.40	631.90	775.10				
III						III			
$h_1 = 4m$						$q_2 = 600 m^3/s$	8.20 - 7.20	-1	840.-
$q_1 = 128 m^3/s$	4-3	-1	93.00	-316.40	-221.60	$h_2 = 7.20 m$			
							6.20 - 7.20	+1	410.-
	4-5	+1	179.50	318.00	496.50				
							5.20 - 7.20	+2	255.-
	4-6	+2	249.0	633.20	882.20	IV			
IV						$q_2 = 500 m^3/s$	7.70 - 6.70	-1	770.-
$h_1 = 5m$	5-4	-1	179.50	-318.00	-133.00	$h_2 = 6.70 m$			
$q_1 = 230 m^3/s$							5.70 - 6.70	+1	320.-
	5-6	+1	300.00	319.20	630.70				
							4.70 - 6.70	+2	190.-
	5-7	+2	390.00	642.20	1039.70	V			
V						$q_2 = 400 m^3/s$	7.20 - 6.20	-1	540.-
$h_1 = 6m$						$h_2 = 6.20 m$			
$q_1 = 370 m^3/s$	6-5	-1	300.00	319.20	-19.20		5.20 - 6.20	+1	255.-
	6-7	+1	460.00	320.10	780.00		4.20 - 6.20	+2	140.-
	6-8	+2	570.00	642.60	1212.60	VI			
						$q_2 = 300 m^3/s$	6.50 - 5.50	-1	460.-
VI						$h_2 = 5.50 m$			
$h_1 = 7m$	7-6	-1	460.00	-320.10	139.90		4.50 - 5.50	+1	175.-
$q_1 = 550 m^3/s$									
							3.50 - 5.50	+2	85.-
	7-8	+1	660.00	320.20	972.20	VII			
						$q_2 = 200 m^3/s$	5.75 - 4.75	-1	330.-
	7-9	+2	777.50	644.20	1421.70	$h_2 = 4.75 m$			
							3.75 - 4.75	+1	105.-
VII									
$h_1 = 8m$							2.75 - 4.75	+2	45.-
$q_1 = 770 m^3/s$	8-7	-1	887.50	-323.30	338.00				
	8-9	+1	660.00	323.30	1210.80				

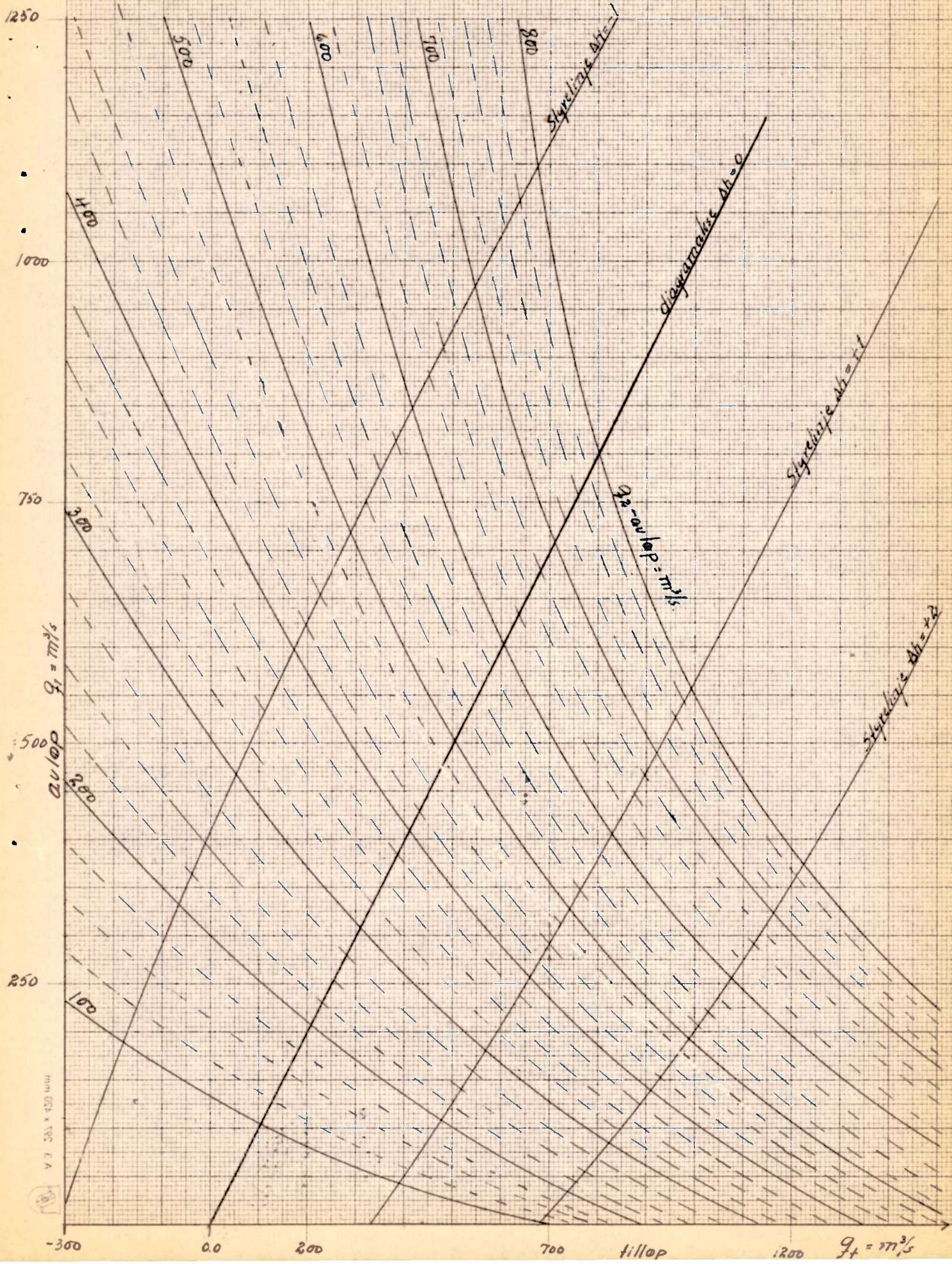


Nr. 369½:2 P

Beide Achsen logar. geteilt, 1 bis 1000 u. 1 bis 100, Einheit 83.33

Diagram for naturlig reguleringsevne
Lundevatn Vm. 565

fig 7



Rekonstruksjon av den naturlige vassföring og vannstand i reguerte vassdrag.

Ved hjelp av reguleringsdiagrammet fig. 7 og de naturlige reguleringskurver fig. 4 kan en rekonstruere de naturlige vassföringer og vannstanden i et vassdrag, når en kjenner vassföringen ved utgangspunktet for beregningen (den naturlige vassföring en eller annen dag innen observasjonsrekken). En trenger også å kjenne q_t (tillöpet) men dette beregnes jo lett ut fra formelen :

$$q_t = \frac{q_1 + q_2}{2} \pm \frac{\Delta M}{\Delta t} \text{ m}^3/\text{s}.$$

hvor q_1 og q_2 er vassföringen etter reguleringen og ΔM er magasinvariasjonen.

Nå kan vassföringen ved utgangspunktet for beregningen anslåes nokså grovt. Den feilen som vi får ved begynnelsen vil bli mindre og mindre etter som beregningen går frem.

En vet jo at hvis tillöpet holdes konstant, så vil avlöpet etter hvert nærme seg tillöpet. Den tiden som krevest for en fullstendig utjevning, må også være tilstrekkelig til utjevning av en hvilken som helst feilansettelse av vassföringen i utgangspunktet.

Likning 17 gir vassföringsendringen over et tidsintervall ved konstant tillöp :

$$\Sigma \Delta q = (q_t - q_o)(1 - (1-k)^{n-1} \qquad (19)$$

Men en har dessuten at

$$q_n = q_o + \Sigma \Delta q \qquad (20)$$

og ved fullstendig utjevning skal $q_n = q_t$

Likning (20) går da over til

$$q_t = q_o + \Sigma \Delta q$$

eller

$$\Sigma \Delta q = q_t - q_o \qquad (21)$$

Men av likning 19 og likning 21 får en da at

$$1 - (1-k)^{n-1} = \emptyset$$

$$(1-k)^{n-1} = 0$$

Her må $n = \sim$ for å tilfredsstille likningen.

Innförer en dog en tillatelig feilgrense f.eks. p % fåes :

$$1 - (1-k)^{n-1} = 1 - p/100$$

hvorav $$n = \frac{1 \text{ og } p/100}{1 \text{ og } (1-k)} + 1$$

Settes p = 1 fåes : $$n = \frac{\log 0.01}{\log (1-k)} + 1$$

Her betegner n antall dögn for feilutjevningen altså antall dager en bör begynne beregning för angjeldende dag. K betegner den naturlige reguleringsevne ved den forelöpig anslåtte vassförin den angjeldende dag. K taes ut av reguleringskurven for K. fig. 4

Som eksempel på anvendelse av denne formlen og de naturlige reguleringskurver har jeg valgt å bestemme det naturlige avlöp den 29/11 1940 ved Lundevatn i Sira-vassdraget. Siravassdraget er riktignok ikke regulert men fremgangsmåten blir den samme for et regulert vassdrag og. En kan nemlig bestemme q_t ved formelen.

$$q_t = \frac{q_1 + q_2}{2} \pm \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad m^3/sek$$

der q_1 og q_2 kan betegne regulert avlöp og ΔM magasinvariasjon. Med stötte i den naturlige reguleringskurve, kan en da danne seg et bilete av det sökte avlöp.

For Lundevatn har jeg beregnet tillöpet å være ca. 700 m³/s og jeg anslår at q_1 ligger mellom 300 m³/s og 500 m³/s. Av K_1 - kurven fig. 4 finner en tilsvarende K - verdier mellom 0,375 og 0.475. Settes nå först K_1 = 0.375 inn i formelen og regnes med en tillatelig feil lik 1 % fåes :

$$n = \frac{\log 0.01}{\log (1-0,375)} = 9 \text{ altså 9 dager}$$

Benyttes K_1 = 0.475 fåes n = 7 " 7 dager

Begynner en altså beregningen 7 - 9 dager för angjeldende dag (den 29/11) altså ca. den 20/11 skulle den beregnede vassföring være riktig.

Tabell fig. 8 viser en slik beregning. Jeg har her anslått avlöpet den 20/11 å være 100 m³/sek ved förste beregning, mens det virkelige avlöp var 55 m³/s. Jeg söker nå punktet (q_t , q_1) (100, -, 116.7) i diagrammets aksekors og finner en

fig 8.

Avløpsberegninger ved hjelp av reguleringsdiagram og naturlige reguleringskurve. Lundevatn.

Dato	Beregning ved reguleringsdiagram						Beregning ved reguleringskurve (naturlig)				
	q_1 = avløp m^3/s	q_m = avløp m^3/s	$\frac{\Delta M}{\Delta t}$ m^3/s	$q_t = q_m \pm \frac{\Delta M}{\Delta t}$ m^3/s	beregna avløp	beregna avløp	$q_t - q_1$ m^3/s	k_1	$\Delta q = k_1(q_t - q_1)$ m^3/s	beregna avløp	anmerkning
21/11	55.-				*100.-	*80.-				*100.-	*Disse vassføringer er anslått.
		60.-	56.7	116.7			16.7	0.215	3.60		
22/11	65.-				100.-	85.-				103.6	
		69.-	50.5	119.5			15.9	0.220	3.50		
23/11	73.-				100.-	90.-				107.1	
		78.5	53.7	132.2			25.4	0.225	5.72		
24/11	84.-				105.-	95.-				112.82	
		95.5	101.5	197.-			84.2	0.230	19.17		
25/11	107.-				120.-	112.5				132.-	
		132.-	180.-	312.-			180.-	0.250	45.-		
26/11	157.-				160.-	160.-				177.-	
		228.5	405.-	633.5			456.-	0.290	132.6		
27/11	300.-				312.5	308.-				311.6	
		385.-	313.-	698.-			394.-	0.365	134.8		
28/11	470.-				470.-	470.-				446.4	
		510.-	134.2	644.-			197.-	0.450	88.6		
29/11	550.-				550	550.-				535.-	
		511.-	-112.3	398.7			398.7	0.475	64.0		
30/11	472.-				475.-	475.-				471.-	

q_2 = ca. 100. Med dette avlöp fortsetter en så beregningen se tabell fig. 8 og kommer frem til et avlöp lik 550 m³/s den 29/11, som også er det virkelige avlöp den dagen. Anslår en avlöpet den 21/11 å være 80 m³/s og gjör samme beregningen, kommer en også frem til 550 m³/s den 29/11. En ser her hvordan en feil i anslått avlöp ved beregningens begynnelse i löpet av de dager som varighetsformelen angir reduseres til 0. Lengst til höyre i tabell fig. 8 er også vist et eksempel på denne beregning ved hjelp av de naturlige reguleringskurver :

En anslår også her et avlöp i begynnelsen av beregning, (her 100 m³/s den 21/11.) Ved hjelp av de naturlige reguleringskurver finner en en tilsvarende K_1 = 0,215. Tillöpet er som för 116.7 m³/s og vi får $q_t - q_1$ = (116.7 - 100) m³/s = 16.7 m³/s og $\cancel{q = K_1}$

$\Delta q = K_1(q_t - q_1)$ = 3.6 m³/s. I löpet av et dögn har altså vassföringa öket med 3.6 m³/s. Avlöpet den 22/11 må således være 103.6 m³/s. Vi fortsetter slik og finner et avlöp den 30/11 lik 471 m³/s som avviker lite fra det virkelige.

De naturlige reguleringskurver kan også anvendes for dimensjonering av flomlöp, mens eksemple på dette kommer ikke med i denne rapport.