

5 -  
H. Harildstad

F o r e l e s n i n g e r

i

DAMBYGGING, ELVEREGULERING OG VASSDRAGSREGULERING

ved

NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE

av

dosent Erling Harildstad

UNIVERSITETSFORLAGET

O s l o

JAN VÅGE

*Laying out  
5.1*

F o r e l e s n i n g e r

i

DAMBYGGING, ELVEREGULERING OG VASSDRAGSREGULERING

ved

NORGES LANDBRUKSHÖGSKOLE

av

dosent Erling Harildstad

UNIVERSITETSFORLAGET

O s l o

*Oversikt over hydrologiske  
forhold i Norge  
Kløbo*

## I n n h o l d :

	side
I. Dambygging .....	1
1. Dammens form og materiale .....	1
2. Grunndam - overfallsdam .....	2
3. Fast dam - bevegelig dam .....	2
4. Botnavløp - overløp .....	3
5. Noen regler for dambygging .....	3
6. Noen damtyper .....	5
7. Flomløpets størrelse .....	7
8. Botnlukens størrelse .....	9
9. Utforming av flomløpet .....	9
10. Trykk og bevegelse av vatn under dammen .....	13
11. Glidning på underlaget .....	16
II. Faste dammer .....	19
1. Jorddammer .....	19
2. Mur- og betongdammer .....	22
2.1. Stabiliserings- og veltingsmoment <i>ut</i> .....	24
2.2. Trykklinjens konstruksjon <i>ut</i> .....	25
2.3. Beregning av botntrykket .....	26
2.4. Utførelse .....	27
3. Dammer av tre .....	33
3.1. Bukkedammen .....	35
3.2. Dimensjonering av tømmermaterialer i bukkedam <i>ut</i> .....	36
4. Tømmerkistedam (laftedam) .....	40
III. Bevegelige dammer .....	42
1. Bjelkedammen .....	42
1.1. Beregning av bjelkene .....	43
2. Nåledammer .....	44
2.1. Beregning av nålene og bukkene <i>ut</i> .....	46
3. Lukedammer .....	50
4. Valsedam - sektordam .....	53

D A M B Y G G I N G



## I. D A M B Y G G I N G.

Et hovedformål ved dambygging er regulering av vassdrag. Ved å demme opp sjøer eller elver gjennom daler får en reguleringsmagasiner som benyttes til å jevne ut den naturlige vassføring. Disse dammer kalles reguleringsdammer. Ellers kan formålet være å skaffe vassmagasin til reservoar for vassverk, til fløtningsvatn, til drift av kanal eller sluse. Ved hjelp av dammer kan en heve vasstanden i ei elv og skaffe djupt nok vatn for fløting på strekninger der elva er slik at fløting ellers er vanskelig eller umulig. Dammer som brukes på denne måten, kalles løftedammer. De har vært brukt i mindre elver med lite fall og med storsteinet, uren botn.

Det kan også være aktuelt å skaffe vassmagasin for vatning i jordbruket. Dette kan skje ved å demme opp større og mindre bekker.

Når en i et elveleie skal bygge f.eks. en reguleringsdam, er det nødvendig å tørrelegge byggeplassen. Til dette bruker en dammer av mer provisorisk karakter. De kalles fangdammer.

### 1. Dammens form og materiale.

Dette bestemmes gjerne av damstedets art, beskaffenheter av botn, tilgang på byggemateriale, oppstuvings høyden, magasin størrelse, vassføring, dammens levealder og damtype.

Dammen legges som regel tvert over elveleiet; men den kan også bare delvis stenge elveløpet, som f.eks. fangdam.

Den rette dam gir gjerne minst masse; men eiendommoligheter i damstedet kan gjøre at skrå eller knekket grunnform gir gunstigere løsning.

Den krumme form, hvelvdammen, virker som hvelv og overfører vasstrykket til dalsidene. De egner seg i smale kløfter og lignende steder. De andre damtypene overfører vasstrykket til dalbotnen.

Byggematerialet kan være jord, stein (murverk), betong, jernbetong samt stål eller tre. Nå brukes mest betong og jernbetong. Men vatnet i de norske vassdragene har vist seg å være svært aggressivt overfor betong. Vatnet er som regel temmelig kalkfattig, og angriper derfor sementen i betongen. Det løser opp den frie kalken i betongen som dermed etter hvert ødelegges. Dette forhold er undersøkt av Norsk Ingeniørforenings betongkomité: Betongkomitéens meddelelse nr.1. Den som får med dam- eller betongbygging i forskvatn å gjøre, bør studere dette.

Grunnrissformen kan være forskjellig:

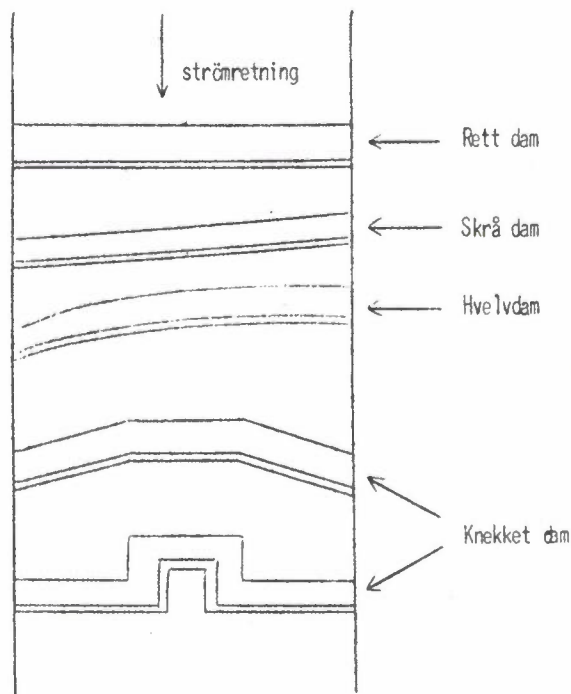


Fig. 1

Konklusjonen er stort sett at det må støpes med velgradert sand og lages en virkelig vasstett betong.

## 2. Grunndam - overfallsdam.

Dammene kan ligge helt under vatn og de kan helt eller delvis være ført opp over vass-speilet. Ligger kronen i første tilfelle lågere enn undervass-speilet, kalles dammen en grunndam. Ligger den oversvømmende krone over undervass-speilet, kalles det en overfallsdam.

Rekker dammen over vass-speilet, gis den gjerne en overhøyde avpasset etter magasinets størrelse og adgangen til bølgedannelse. Undertiden danner denne overhøyde et ekstra magasin til utjevning av skadeflom på den tid det normale magasin er fullt. Kronens bredde står gjerne i forhold til damstørrelsen og den trafikk som den skal gi adgang til.

## 5. Fast dam - bevegelige dammer.

Ved fast dam forstår man en dam som ikke har regulerbar avløpsåpning for vatnet. Avløpsmengden vil her alltid stå i et bestemt forhold til vass-speilets høyde over overløpets terskel.

Ved bevegelig dam derimot kan vassføring og oppdemningshøyde innen visse grenser reguleres ved at en kan variere avløpsåpningens størrelse.

#### 4. Botnavløp - overløp (flomløp).

Det bør alltid settes inn botnluke slik at dammen kan tappes og tørrlegges. Den settes alminnelig på damstedets lågeste parti. Lukeåpningen kan dimensjoneres slik at den f.eks. tar regulert vassføring tillagt 50 - 100 %. Ved mindre dammer kan dette avløpet også utføres som spalteåpning i hele dammens høyde. Denne lukkes så med bjelker. En luke er utsatt for sterkt slit. Best og sikrest er det å legge inn to atskilte botnluker, så en har en reserve om den ene blir ubrukelig.

Særlig nyttig kan botnavløpet være ved dammens oppførelse. Først kan en bygge det parti av dammen hvor botnluken ligger. Vatnet føres da forbi gjennom den åpne del av elveløpet. Mens resten av dammen bygges opp, slippes vatnet gjennom botnavløpet. Men en bør da søke å bygge på en slik tid av året at vassføringa er så lita som mulig.

Overløpet - flomavløpet - er den del av dammen hvor vatnet normalt slippes videre når magasinet er fullt, forutsatt at en ikke sørger for sådant avløp gjennom rør, tunnel eller kanaler. Selv om det siste er tilfelle, bør en dog ha overløp hvor en kan slippe eventuelle flomvassmasser videre. Dette flomavløp må ved alle dammer være tilstrekkelig stort. For små flomløp har voldt store ødeleggelsler. En større eller mindre del av dammen må da utføres med overløp. Ved enkle overløp uten avstengningsanordninger vil vass-standen være avhengig av flomvassføringa (fast dam). Hvor en skal holde en bestemt vass-stand ved alle vassføringer, må en kunne stenge av flomløpet ved bevegelige konstruksjoner, f.eks. bjelker eller nåler (bevegelige dammer).

#### 5. Noen regler for dambygging.

1. Dammen må ha tilstrekkelig tyngde og styrke, så den kan motstå den største kraft som vatnet kan øve på den. En rekke dammer er ødelagt fordi stabiliteten ikke har vært i orden. Dammen kan enten velte eller gli på underlaget. Det kan også tenkes at fjellet som dammen er bygget på, inneholder slepper som går slik at både dammen og det øverste parti av fjellet er instabilt. Dammer som ved hjelp av sin tyngde skal være stabile nok, kalles gravitasjonsdammer. En dam kan også konstrueres slik at vasstrykket selv hjelper til å holde den på plass. Dette er som regel tilfelle med jernbetongdammer.



2. Den må alltid bygges tilstrekkelig tett. Betong er i dag det viktigste materiale til dambygging; men nøytralt eller surt vatn vil virke oppløsende på sementen. I Norge er det en rekke tilfelle hvor ødeleggelsene skyldes vatnets kjemiske angrep.
3. Den må bygges og vernes på en slik måte at vatn ikke får undergrave den. Den vasstette delen av dammen må derfor som regel føres så djupt at den sikrer mot dette.

Det viser seg nemlig at den langt hyppigste årsak til dambrudd er underspyling. Er ikke undergrunnen tett, vil vasstrykket på dammens forside bevirke vass-sig gjennom grunnen. Dette vass-siget kan i ugunstige tilfelle vokse og til slutt spyle ut grunnen under dammen. De virkelig store damkatastrofer skyldes slik underspyling. I alle tilfelle vil vass-sig under dammen bevirke tap av vatn, så nytten av dammen blir sterkt nedsatt.

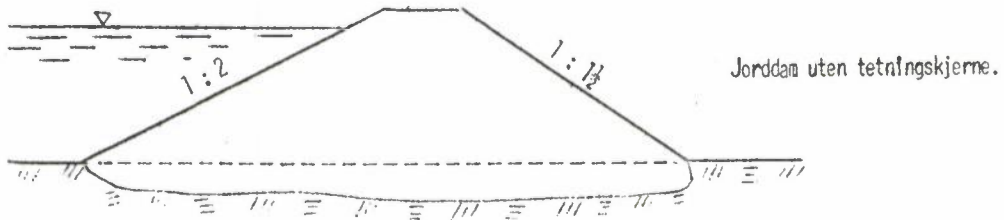
4. Er det dårlig byggegrunn, kan vatn som renner over dammen eller blir tappet gjennom lukene, undergrave fra baksiden. Det må derfor tas rådgjerder mot dette.

Det rennende vatn kan ellers bevirke mekaniske ødeleggelser, særlig ved dammer bygd av løst materiale. Disse må derfor beskyttes mot bølgeslag, overvatn eller vass-sig gjennom dammen.

5. Dammen må forbindes med sidene på en slik måte at vatnet ikke kan arbeide seg gjennom her.
6. Enhver dam må kunne slippe den størst forekommende flom forbi.
7. En må også være oppmerksom på at en kan få overskridelse av materialets fasthet; men i de fleste tilfelle har en moderate spenninger. Av større dammer bygd i nyere tid er visstnok bare en eneste dam ødelagt på grunn av for høye spenninger. Det gjelder særlig å passe på at maksimaltrykket på grunnen ikke overstiger det tillatte. For godt fjell kan en regne med 10-20 kg/cm<sup>2</sup>; for fast sand og grus 4-6 kg/cm<sup>2</sup>.
8. Endelig må vi huske på at en bare kan bruke helt førsteklasses materialer og at det aldri sluskes med arbeidet.

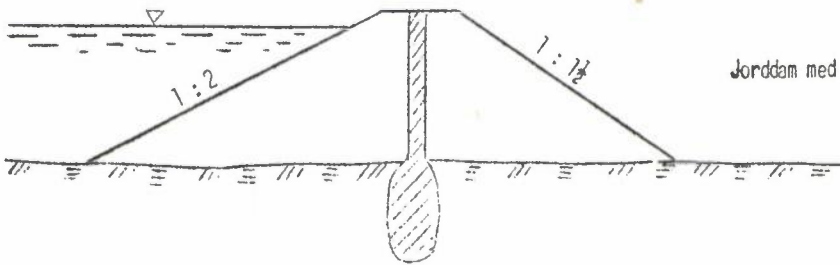


6. Noen damtyper.



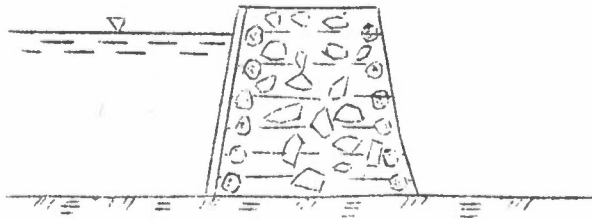
Jorddam uten tetningskjerne.

Fig. 2



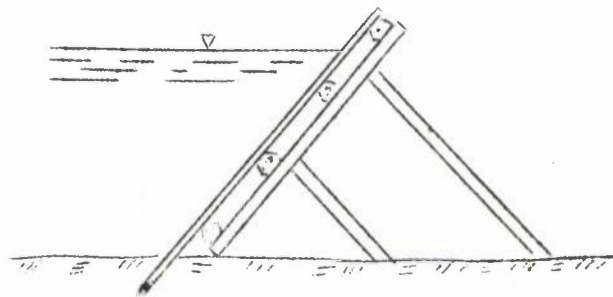
Jorddam med tetningskjerne.

Fig. 3



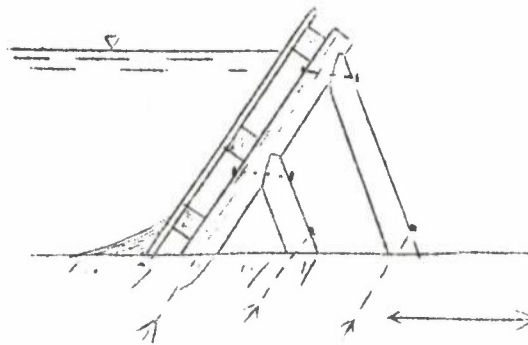
Steinfylt tømmerdam.

Fig. 4



Tømmerdam med skrå forside.

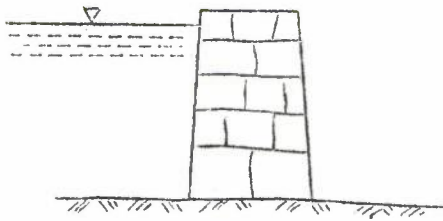
Fig. 5



Dam av tre (fangdam).

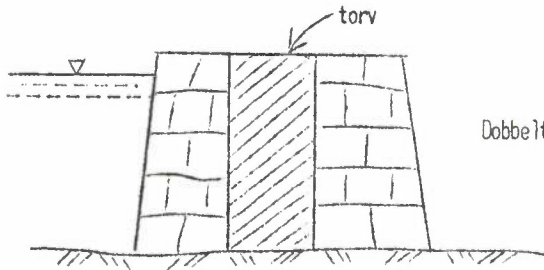
Boltfeste i borhull.

Fig. 6



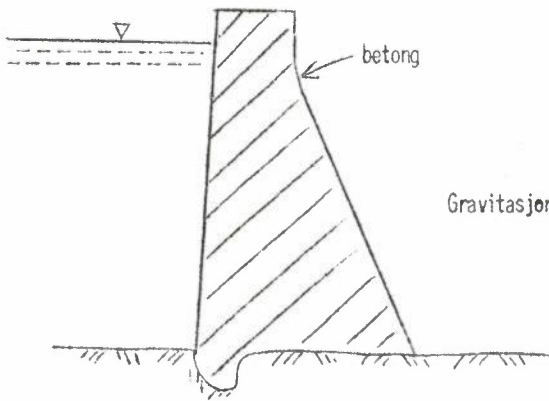
Dam av törmur.

Fig. 7



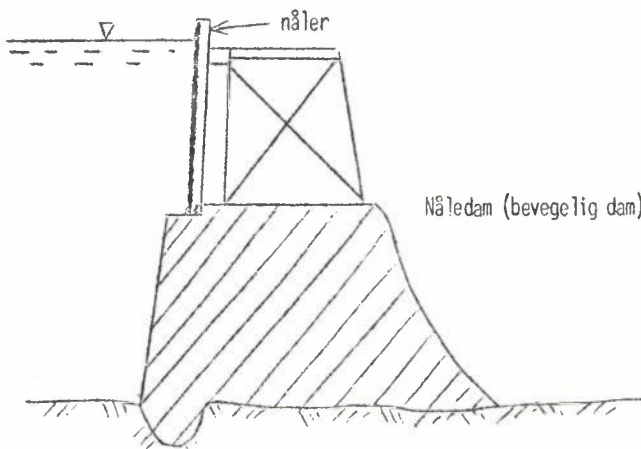
Dobbel törmurdam med torvtetning.

Fig. 8



Gravitasjonsdam - massivdam.

Fig. 9



Nåledam (bevegelig dam)

Fig. 10

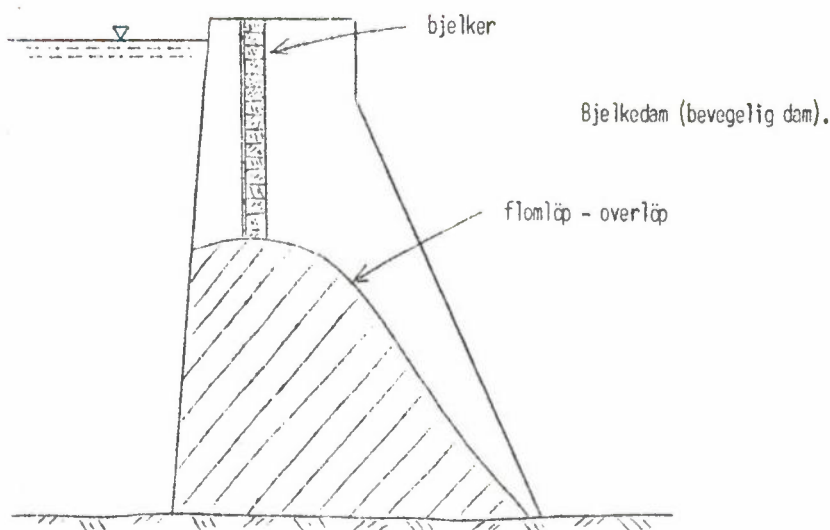


Fig. 11

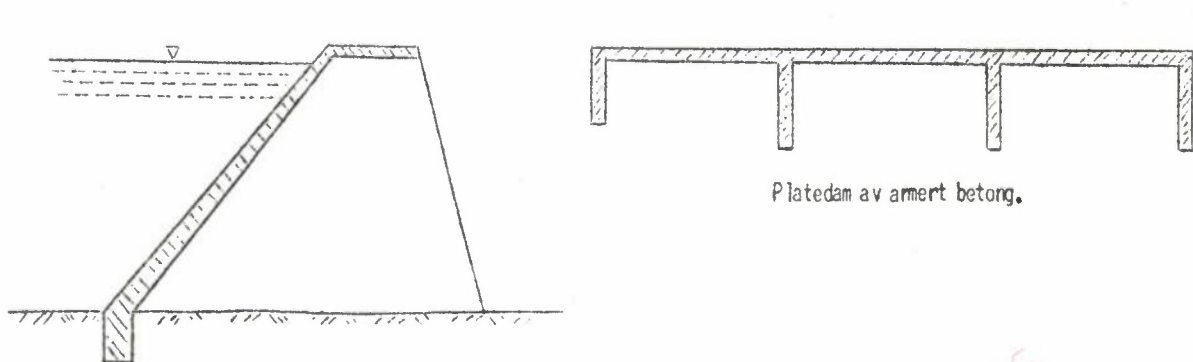


Fig. 12

### 7. Flomløpets størrelse.

Den vanlige formel er følgende:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$$

Q = flomvassmengden.

μ = koeffisient som innføres p.g.a. friksjon, kontraksjon og hvirveldamelse ved skarpkantete overløp.

b = flomløpets bredde

h = djupet fra vass-speilet til terskelen. Denne h må måles minst 3.h inn i magasinet fordi vass-speilet nærmest dammen synker noe ettersom vatnet får fart.

*anløps-  
trykk.*

Eks. Beregn nødvendig bredde på flomløpet når det gjøres fritt, 60 cm høyt, og største flom kan settes til  $30 \text{ m}^3$  pr. sek.  $\mu = 0.70$ .

$$30 = \frac{2}{3} \cdot 0,70 \cdot b \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,6} = 0,96 b$$

$$b = \frac{30}{0,96} = 31,2 \text{ m}$$

En annen formel, som under ellers like forhold ser ut til å gi noe større flomløp, er denne:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2g \cdot h/3}$$

eller  $Q = b \cdot (1,43 h)^{3/2}$

Denne formel er brukbar, når damkronen er meget bred.

Koeffisienten,  $\mu$ , sløyfes idet en forutsetter meget god utførelse med avrundete kanter. Til grunn for formelen ligger følgende resonnement:

De vesentlige krefter som virker på vatnet og akselererer det i overløpet, er overtrykket mellom overvatn og undervatn =  $\frac{h}{3}$ . Dessuten har man friksjon og virveldannelser ved skarpe kanter og lignende. Ved god utførelse kan innflytelsen av det siste gjøres så liten at det er mulig å se bort fra det.

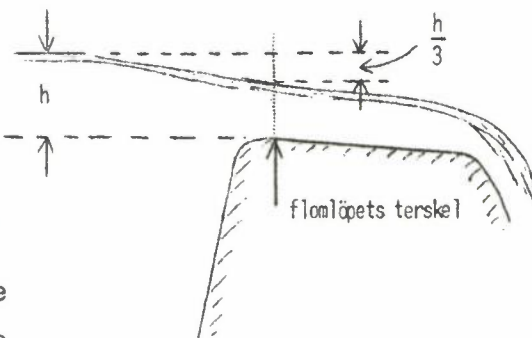


Fig. 12

Denne senking av vassnivået i overløpet p.g.a. større vasshastighet, regnes vanlig =  $0,2 - 0,3 h$ .

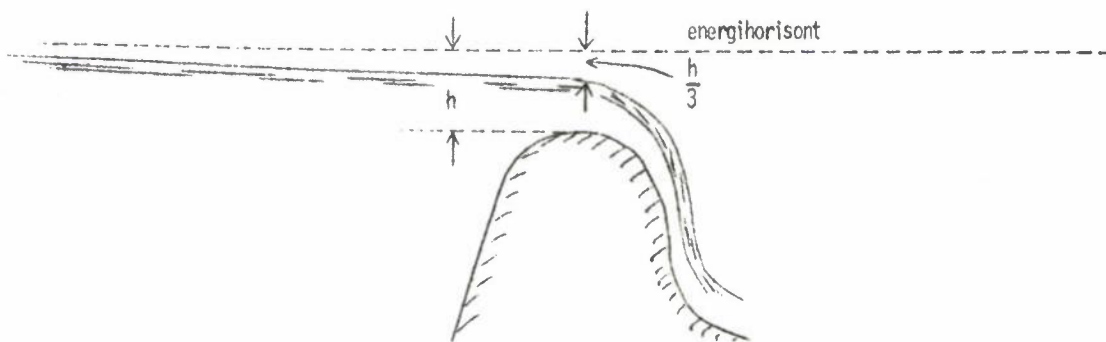


Fig. 13

Har vatnet ovenfor dammen en hastighet  $v$ , gir dette samme virkning som en økning av  $h$ . Denne trykktilvekst, hastighetshøyden, =  $\frac{v^2}{2g}$  eller vatnets kinetiske energi. I dette tilfelle regnes  $h$  fra energihorisonten istedenfor fra vass-speilet like ved dammen. Dette er enklere enn



først å måle tilstrømningshastigheten for deretter å beregne hastighets-  
høyden  $\frac{v^2}{2g}$ .

Er tilstrømningshastigheten mindre enn 0.5 m/sek., settes den for  
øvrig ut av betraktning.

*13!*

### 8. Botnlukens størrelse.

Under forutsetning av at det er så mye fall nedenfor dammen at  
undervatnet ikke når opp til botnluken, kan en benytte følgende formel:

*merk*

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \sqrt{2g} (h^{3/2} - h_1^{3/2})$$

eller  $Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h \sqrt{2gh} - \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h_1 \sqrt{2gh_1} \quad (h^{3/2} = h\sqrt{h})$

Eks. Høyeste vass-stand i en dam er 10 m. På  
djupeste sted i profilet skal legges en botn-  
luke. Beregn dens størrelse når den må kun-  
ne ta  $3 \text{ m}^3$  pr. sek. selv om vass-standen  
synker til 1 m over botn.  $\mu$  settes = 0,62.

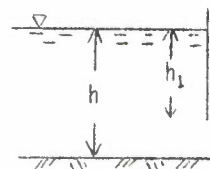


Fig. 14

I dette tilfelle blir  $Q = 3 \text{ m}^3/\text{sek}$ ,  $h = 1 \text{ m}$ ; men det er enda 2  
ukjente i ligninga. En kan da prøve seg fram ved å anta f.eks. en viss  
bredde og så undersøke om denne gir rimelig høyde.

Antar bredden = 2 m.

$$3 = \frac{2}{3} \cdot 0,62 \cdot 2 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} - \frac{2}{3} \cdot 0,62 \cdot 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot h_1^{3/2}}$$
$$9 = 11 - 11h_1^{3/2} \quad \text{eller} \quad h_1^{3/2} = \frac{2}{11}$$

$$\log h_1 = \frac{2}{3} (\log 2 - \log 11)$$

$$h_1 = \underline{0,32 \text{ m}}$$

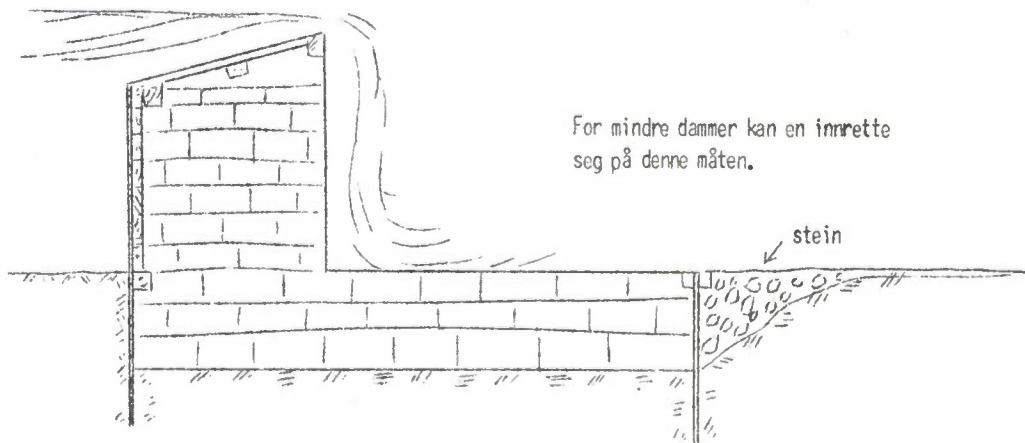
$$\text{Lukens høyde} = h - h_1 = 1,00 - 0,32 = 0,68 \text{ m.}$$

Om beregningsformler i andre tilfelle, se hydromeknikken.

### 9. Utforming av flomløpet.

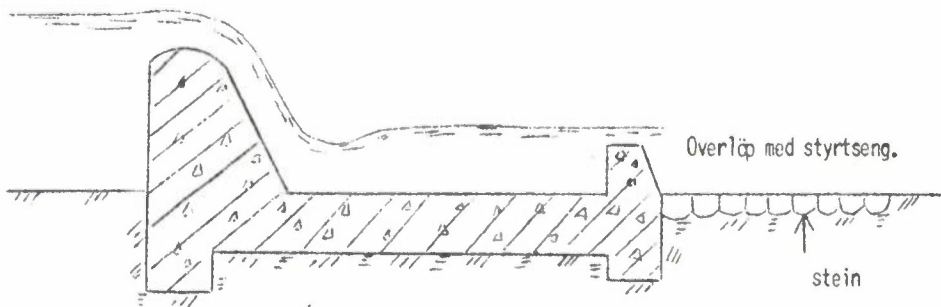
Flomløpet og partiet bak dammen må konstrueres slik at vatnet ik-  
ke får undergrave dammen. Dette gjelder særlig der grunnen er løs;  
men også hvor det er løst fjell. Det er eksempler på vatn som har styr-  
tet ned 5 m over en slik overfallsdam, ned i et 2 m djupt basseng bak  
dammen, i løpet av få år har gravd så mye i fjellet bak dammen at denne  
veltet.

For å hindre dette kan en innrette seg på flere måter. Det alminneligste er å bygge styrtgolv av stein, betong eller i enkelte tilfelle av tre. For å hindre at rystelser forplantes til selve dammen, bør dette styrtgolv helst ikke forbindes med den.



For mindre dammer kan en innrette seg på denne måten.

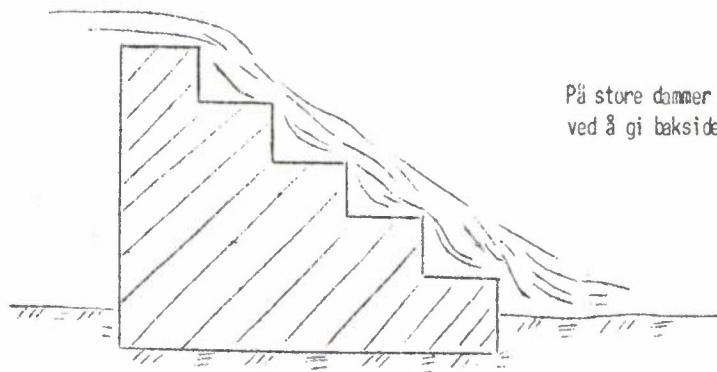
Fig. 15



Overlöp med styrtsegg.

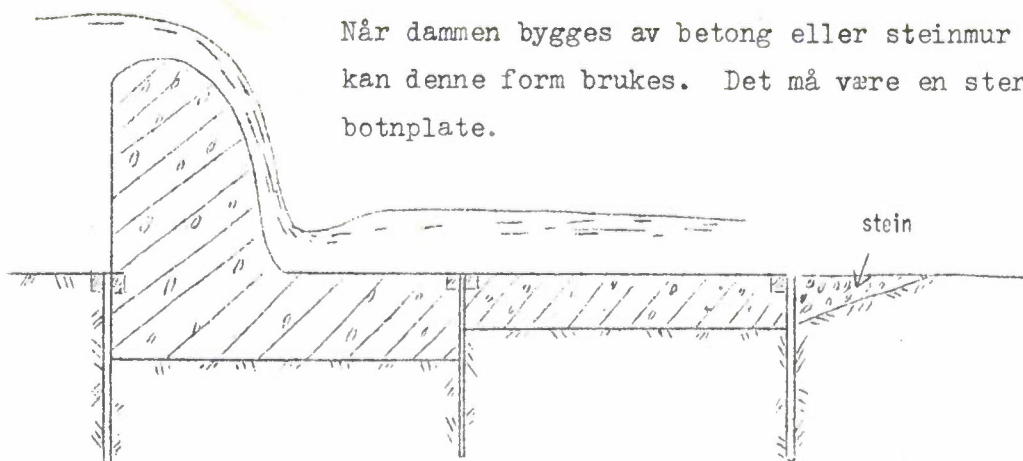
stein

Fig. 16



På store dammer kan en bryte vatnets kraft ved å gi baksiden av dammen trappeform.

Fig. 17



Når dammen bygges av betong eller steinmur i mørtel, kan denne form brukes. Det må være en sterk, kort botnplate.

Fig. 18

Selve baksidens form konstrueres nå til dags gjerne etter den kurve som den nedstyrtende vassmasse vil beskrive om den slippes fritt ut fra dammen, d.v.s. vatnets fallparabel.

Når en vasspartikkel med horisontal hastighet  $v$  faller, vil den p.g.a.  $v$  i tiden  $t$  ha beveget seg  $x$  m framover. Men i samme tid vil den falle stykket  $y = \frac{1}{2} gt^2$ . Når en av disse ligninger eliminerer  $t$ , får en

$$y = \frac{g}{2v^2} x^2$$

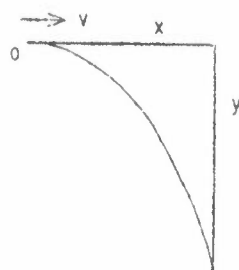


Fig. 19

Hastigheten  $v$  tas i det punkt kurven begynner, som regel et stykke inn på dammen.  $v$  finnes da av denne formelen:

$$v = \frac{Q}{b(h - 0,2 h)} = \frac{Q}{b \cdot 0,8 h}$$

Eks.  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{sek}$ ,  $b = 35 \text{ m}$  og  $h = 0,6 \text{ m}$ .

$$v = \frac{Q}{b \cdot 0,8 h} = \frac{30}{35 \cdot 0,8 \cdot 0,6} = 1,79 \text{ m/sek}$$

$$y = \frac{g}{2v^2} x^2 = \frac{9,81}{2 \cdot 1,79^2} x^2 = 1,5 x^2$$



Fig. 20

Av ligningen  $y = 1,5 x^2$  beregnes og konstrueres den teoretiske kurve. Denne kurve heves noe (gjøres slakere), høyere jo mer ujevn kronen er. Dersom en gjør kurven for steil, kan en få vakuumdannelse mellom vatn og dam. Derved forskyves trykklinjen ugunstig, likesom steiner også kan suges ut. Ved damfoten tvinges vassmassen ved hjelp

av en kontrakurve, slik at den får horisontal bevegelsesretning her.

Når dammen har steil bakside, har en i mange tilfelle ført luft inn under vassstrålen for å hindre vakuumdannelse. Særlig ved jernbetongdammer er dette viktig, da disse i tilfelle vakuumdannelse vil få et voldsomt ekstratrykk som platen ikke er dimensjonert for.

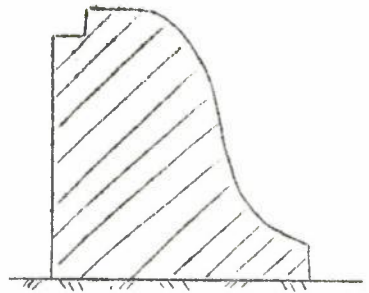


Fig. 21

Ved fritt overfall hvor vassstrålen ikke følger damprofilet, står en mer fritt i utforming av dette. Denne utførelse passer godt f.eks. ved platedammer (jernbetong). Men som nevnt, må en alltid sørge for luft bak strålen.

Overfall - flomløp - direkte på selve dammen kan bare utføres på dammer av faste materialer. Har vi med jorddam å gjøre, er det ofte mest hensiktsmessig å legge flomløpet ved siden av dammen.

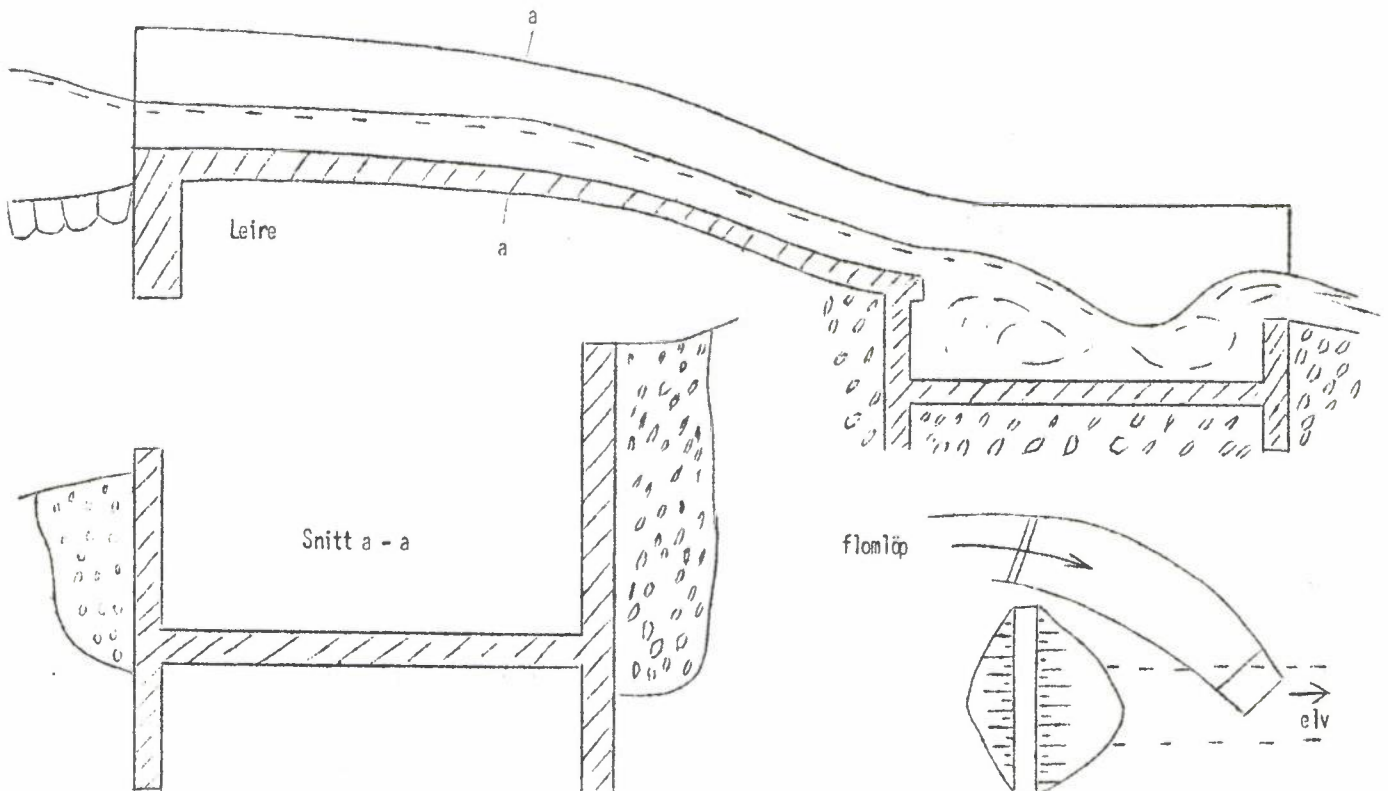


Fig. 22

Figur 22 viser eksempel på flomløp hvor grunnen består av leire. Flomløpet er bygd helt av armert betong, og ved foten er det et hvirvelkammer hvor vatnets energi ødelegges.



### 10. Trykk og bevegelse av vatn under dammen.

Selv om dammen er bygd på fast fjell, må en regne med at det før eller senere kommer vatn i botnfugen.

På en dam virker da 3 ytre krefter: vasstrykket, egenvekten og undertrykket. De to førstnevnte er vel definerte størrelser; men undertrykket er derimot ukjent. Dette avhenger av mange faktorer, således om fjellet under dammen er tettest i forkant eller i bakkant, og av hvor tett fjellet er i det hele. Det har vært gjort mange forsøk på å måle dette vasstrykket uten at spørsmålet er klarlagt. Da vasstrykket under dammen vil avta fra forsiden

mot baksiden, er det vanlig å anta et rettlinjet forløp. Antar en videre at undertrykket i forkant er en brøkdel,  $\eta$ , av vasstrykket, samt lik 0 i bakkant, får en et triangel som trykkdiagram.

En verdi på  $\eta = 1/2$  eller 50 % undertrykk i dammens forkant blir i allminnelighet ansett for å være riktig.

Men en må være oppmerksom på at det gis tilfelle hvor en må regne med fullt vasstrykk, undertrykk, i dammens forkant, og at dammen må konstrueres etter det.

Tidligere har det vært vanlig å legge drenering under en dam for å hindre at der oppstår undertrykk. En slik drenering er svært lite virksom, og kan tvertimot bevirke lekkasje der hvor en ellers ikke ville ha det. De fleste konstruktører anser derfor nå on slik drenering for å være mer skadelig enn gagnlig (Strømme).

Er fjellet mindre tett, kan det være heldig å sprengte ut en tetningsgrøft under dammens forkant. Den bør gjøres ca. 1,5 m bred og så djup at en kommer ned på helt fast fjell. Bredden retter seg for øvrig etter damhøyden. Grøften støpes igjen med fet, vasstett mørtel (mot fjell), og betong.

En kan også bli nødt til å bygge dammer på porøs grunn uten at det er mulig å få tetting ned til tett grunn, fjell eller leire. Under

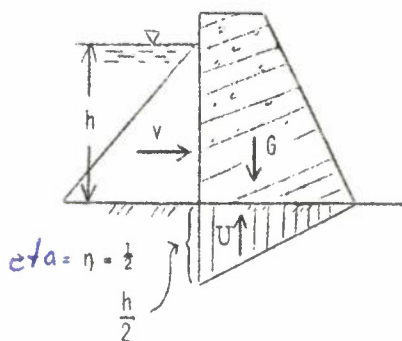


Fig. 23

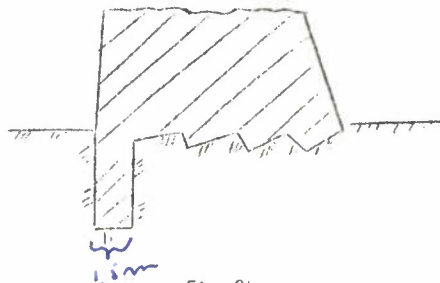


Fig. 24

slike dammer vil det alltid gå noe vatn. Men en må da ved hjelp av brede fundamentplater, om nødvendig sammen med spuntvegger og fortanninger, gjøre vegen for vatnet under dammen så lang at strømmen under den ikke blir sterk nok til å kunne føre bort noe materiale - og på den måten undervaske dammen.

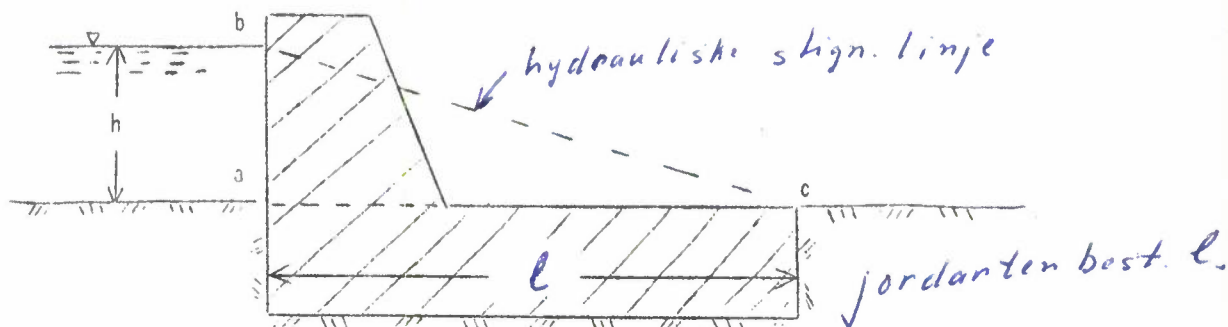


Fig. 25

Vatnet vil trenge ned i grunnen med et trykk svarende til høyden opp til vass-speilet =  $h$ . Dette trykk gir vatnet en viss strømningshastighet. Dersom vatnet har igjen noe av denne strømningshastighet når det kommer fram på bakre siden av dammen, vil det ha både gravende og transporterende evne. Oppgaven blir derfor å skaffe vatnet så stor strømningsmotstand at det kommer fram med ubetydelig hastighet, uten overtrykk. For dette tilfelle kan vi tegne opp et trekantet trykkdiagram, abc, når vi antar rettlinjert variasjon.

Linjen b-c kalles også den hydrauliske stigningslinje. Med en bestemt magasin høyde,  $h$ , blir det jordarten som bestemmer avstanden,  $l$ , og dermed stigningen på linjen b-c.

Den nødvendige veglengde,  $l$ , kan etter Bligh bestemmes av formelen  $l = c.h$ .  $c$  er et erfaringsstall,  $h$  = trykkehøyden.

På grunnlag av undersøkelser i India av helt dykkede overfallsdammer og av lukedammer i Egypten, med oppdemningshøyde 3,6-4 m, har Bligh stilt opp følgende verdier for  $c$ :

For mudder og nilsand (Nilen)	$c = 18$
" glimmerholdig fin sand	$c = 15$
" grov sand	$c = 12$
" sand med singel og rullestein	$c = 5 - 9$

Den nødvendige damlengde,  $l$ , fås ved at selve dammen gis stor nok utstrekning eller ved å legge en plate i forbindelse med den. Istedenfor å legge hele platen nedenfor dammen, kan en legge en del av den

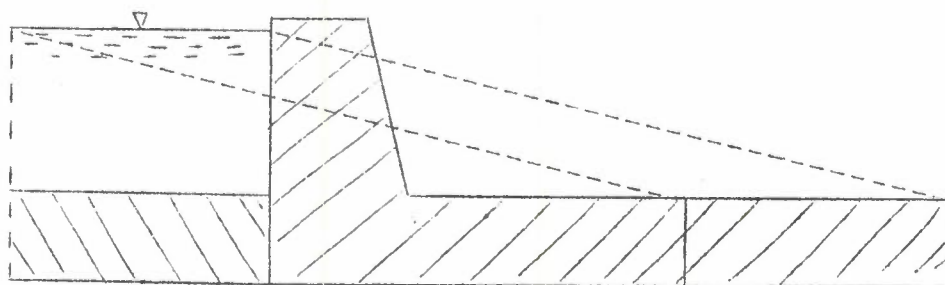


Fig. 26

ovenfor dammen. Den vil her kunne gjøres svakere fordi vasstrykket blir omtrent det samme både over og under platen, men virkningen av platen blir den samme som nedenfor dammen. Den kan f.eks. gjøres av 1,2 - 1,5 m. tykt leirlag med steinplastring. Vekta av dammen bør være minst  $\frac{1}{3}$  større enn vasstrykket nedenfra.

Veglengden kan også økes ved at en under dammen og i forbindelse med den anbringer vertikale betong- eller spuntvegger. Vatnet vil da følge disse istedenfor å gå korteste veg gjennom jordmassen. Har en flere slike vegger etter hverandre, må minste avstand mellom disse være to ganger veggens djup, fig. 27.

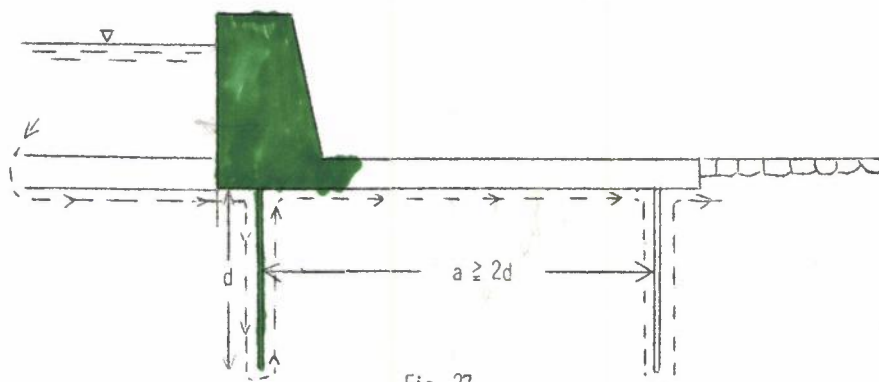


Fig. 27

Er dammen en overfallsdam, bør en under den nedre enden av golvet anbringe en spuntvegg eller betongvegg ned i grunnen for å hindre undervasking på nedstrømsiden. Denne spuntvegg må ikke være helt tett for at vasstrykket under dammen ikke skal øke. Nedenfor golvet bør botnen styrkes med steinkledning eller annen sikring.

En dam på løs botn kan også ha steinfylling bakenfor istedenfor golv. Overløpet vil da arte seg som et lengre stryk. En kan regne med at ca. 50 % av steindamtverrsnittet er hulrom. Straks etter byggingen

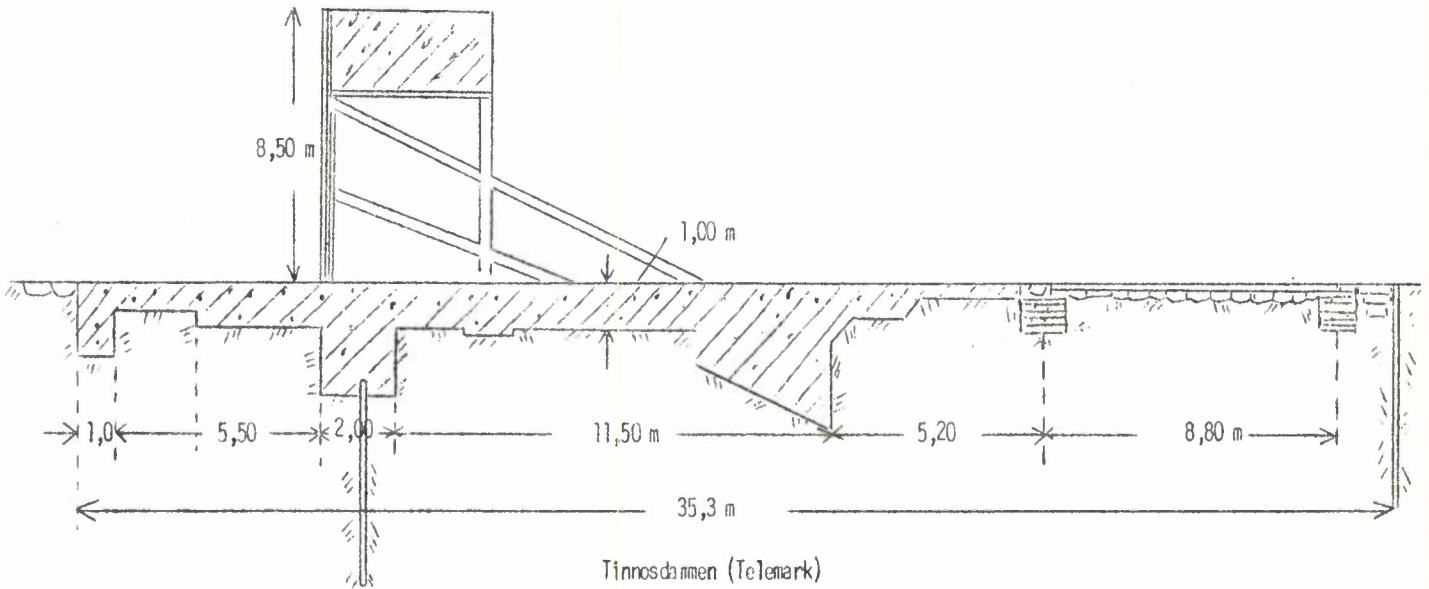


Fig. 28

vil der gå en del vatn gjennom steinfyllinga; men de faste forurensninger i vatnet vil litt etter litt tette fyllinga. En må regne med at også steinfylling vil "sette" seg noe, slik at det blir nødvendig med etterfylling. Når en så avslutter arbeidet med steinplastring, vil en få

god dam. Ved settinga vil steinmassen kunne synke ned og fram - slik at det kan bli kløft mellom selve dammen og steinfyllinga, fig. 29. Helst bør en derfor fylle med små stein like

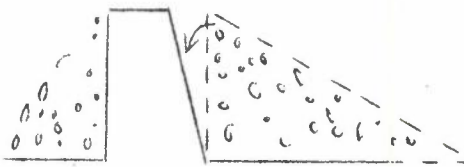


Fig. 29  
*(Vekten av sideve dammen)*

bak dammen. Småsteinen ruller ned i ettersom massen synker unna.

11. Glidning på underlaget.

Glidning på underlaget kan en få dersom trykket virker skrått på fundamentflaten og friksjonen ikke er stor nok til å hindre glidning, eller fundamentet heller ikke på annen måte er sikret mot dette.

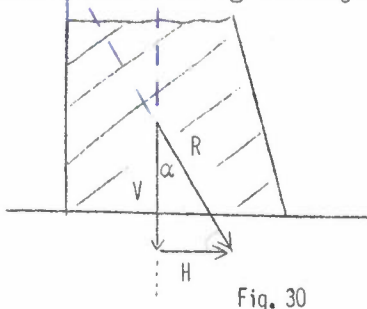


Fig. 30

Resultanten danner vinklen  $\alpha$  med normalen til glidefugen. Resultanten dekomponeres i en vertikal og en horisontal komponent, henholdsvis V og H.

*H må være mindre enn friksjonskraften*

*Vans. trykket*



Vi har da:  $V = R \cos \alpha$  og  $H = R \sin \alpha$

Skal glidning hindres, må  $\mu \cdot R \cos \alpha \geq R \sin \alpha$

eller  $\mu \geq \operatorname{tg} \alpha$

$\mu$  = friksjonskoeffisienten, og når denne uttrykkes som  $\operatorname{tg}$  til friksjonsvinklen,  $\varphi$ , blir betingelsen:

$$\varphi \geq \alpha$$

Glidning betong (stein) på:	Friksjonsvinkel $\varphi$	$\mu$
betong (glatte flater) .....	25 - 34°	0,47 - 0,67
betong (ru flater) og fjell .....	34 - 37°	0,67 - 0,75
leire og leirblandede materialer, tørre .....	25 - 33°	0,47 - 0,65
" " " " , våte .....	17 - 25°	0,31 - 0,47
" " " " , bløte .....	4 - 17°	0,07 - 0,31
sand og singel, tørr .....	25 - 33°	0,47 - 0,65
" " " , våt .....	20 - 25°	0,36 - 0,47

En må regne med en viss sikkerhet, avpasset etter forholdene, som regel med fra 1,5 til 2.

Eks.

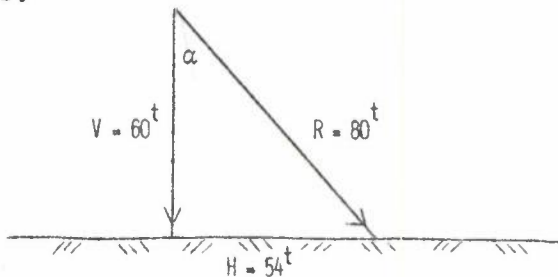


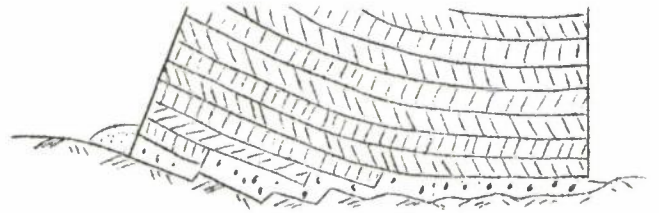
Fig. 31

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{V} \approx \frac{54}{60} \approx 0,90$$

$$\alpha \approx 42^\circ$$

Dette gjelder for botnfugen.

Mursjiktene ved dam av mur i mørtel.



Avtrapping i fjellgrunnen.

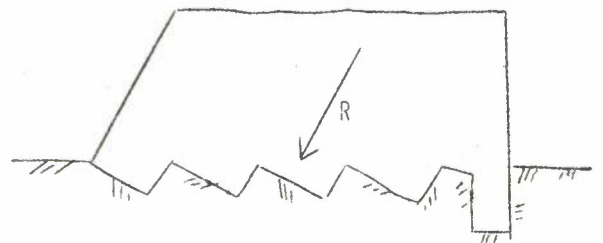


Fig. 32

Som en ser, fig. 31, er det i dette tilfelle stor risiko for glidning, uten spesielle forholdsregler. Forholdene kan være slike høyere opp i damkonstruksjonen også. Derfor er det regelen at en må unngå horisontale støpefuger tvers igjennom. Eventuelle støpefuger må utføres med ~~fortanning~~ eller med skråning opp mot luftsiden.

## II. FASTE DAMMER.

### 1. Jorddammer.

Jorddammer er en fellesbetegnelse for alle dammer utført av løse materialer, jord, sand, leire eller stein. Profilet gjøres som oftest trapesformet. Stabilitetsberegning foretas som regel ikke.

Det beste materiale til fremstilling av en tett jorddam, er blanding av sand og leire. Det angis at 10 - 20 % sand tilsatt leire gir største tetthet. Selv små mengder leire setter ned sandens gjennomtrengelighet ganske sterkt. Sandtilsetning vil også bevirke at massen ikke har så lett for å sprekke opp ved uttørking. Er damjorden ikke tilstrekkelig tett, hvilket ofte kan være tilfelle hos oss, må dammen utføres med en spesiell tetningskjerne. Ved større dammer blir det bare spørsmål om armert betong. Ved mindre dammer kan kjerne av leire benyttes.

Jordskråningen kan gjøres 1:2, eller undertiden noe slakere på vass-siden. Steinskråning 1:1½ - opptil 1:1. Kronebredden 3 - 5 m.

Dammen må beskyttes mot vatnets mekaniske påvirkning. Overløpet må dimensjoneres rikelig så flomvassføringen med sikkerhet kan ledes bort uten at vass-standen stiger opp til kronen. Denne må dessuten legges ekstra høyt så heller ikke bølgeslaget kan nå opp. I alminnelighet vil en velge atskillig større avstand mellom høyeste vass-stand og damkronen enn ved dammer av faste materialer. Ved noe større dammer bør kronen velges ca. 2 m over høyeste vass-stand. Vass-siden må beskyttes mot bølgeslag. Dette kan skje ved betongplater eller stor stein som legges i torv. Platestørrelsen eller steinstørrelsen må avpasses etter bølgestørrelsen. I alminnelighet vil en ikke kunne bruke mindre stein- eller platestørrelse enn 50 x 50 cm.

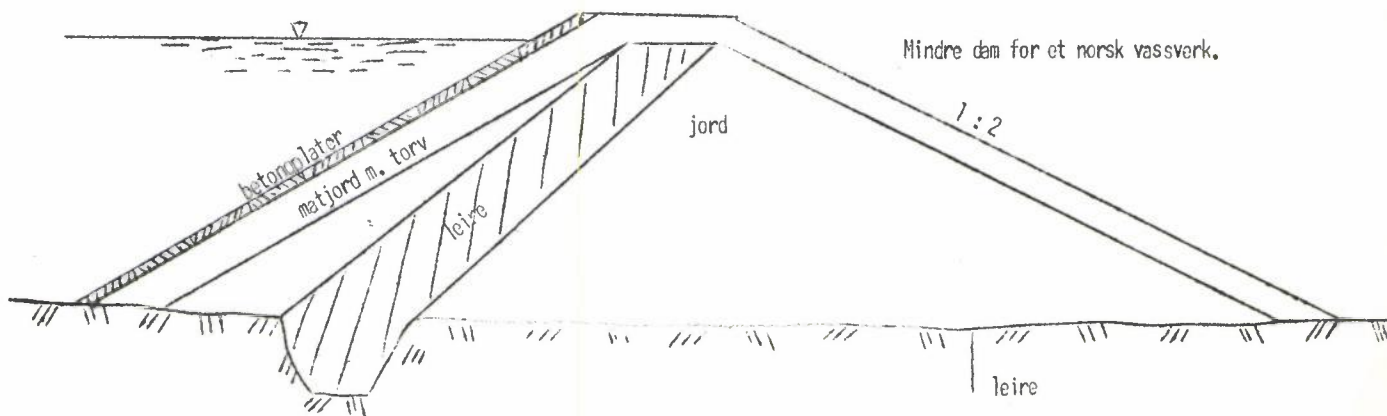


Fig. 33

Grunnen består av leire. Størsteparten av dammen, fig. 33, består av forskjellige jord-, sand- og grusmasser. Foran dette kommer en tetningskjerne av leire. Denne er ført et stykke ned i den tette, uforvitrede leire i botnen. Hele dammen er kledd med et lag matjord og torv. På vass-siden kommer dessuten betongplater som ekstra beskyttelse. Både jordfyllinga og tetningskjernen er stampet med små overflatevibratorer, beregnet på betongvibrering.

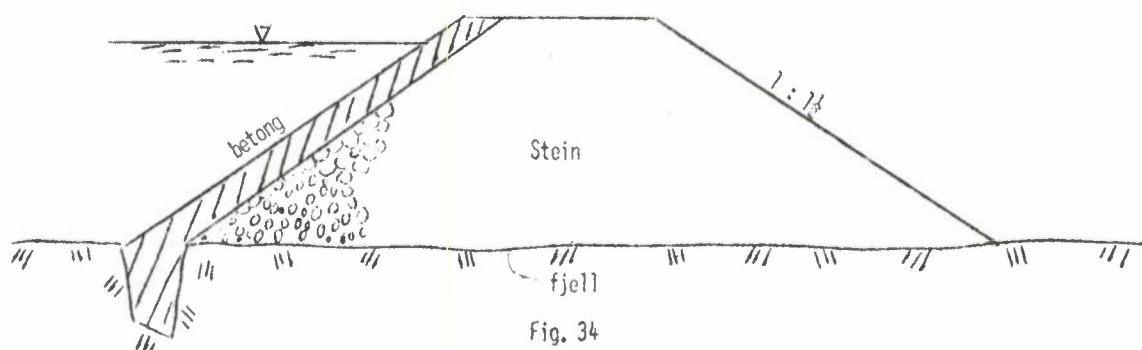
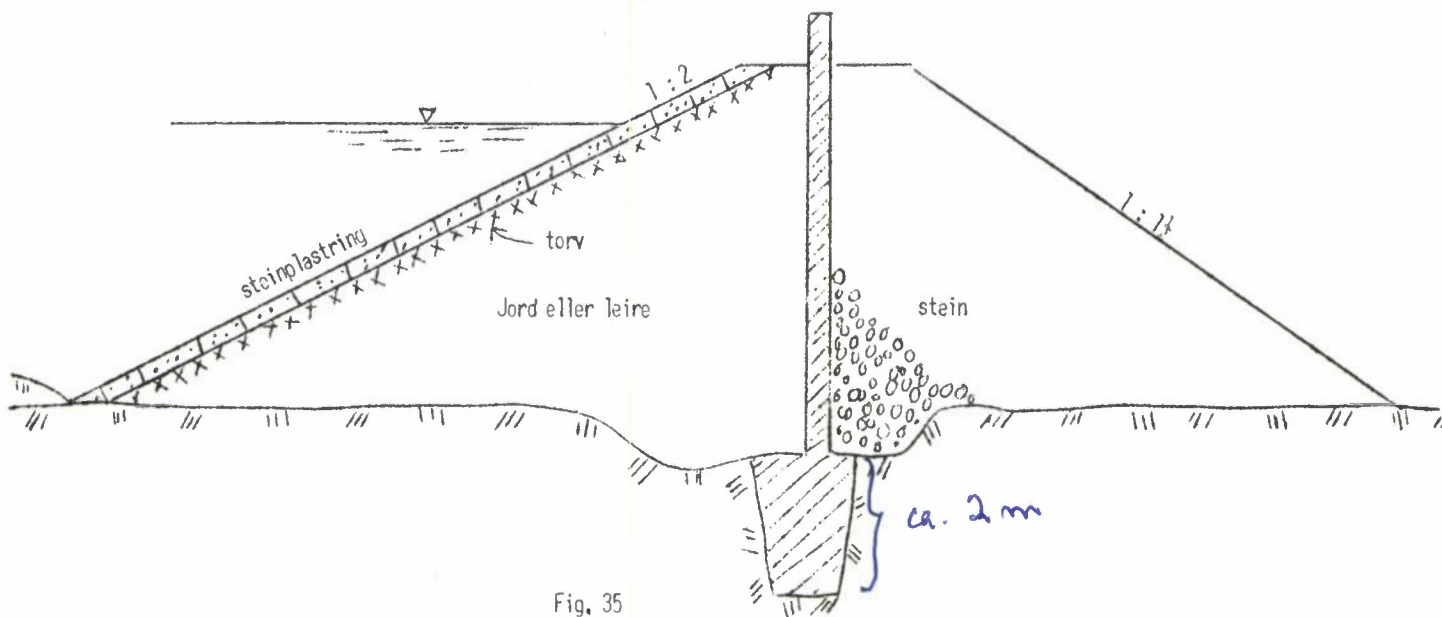


Fig. 34 viser steinfyllingsdam fra høyfjellet. Steinen stammer fra tunneldriften. Dammen er bygd på fjell, og tetningen består av betongkjerne som ligger utenpå dammen.



Dette er større jorddam som er bygd i Norge. Elvebotnen består her av meget hård og tett leire med et forvitret lag øverst, samt slam og stein. Tetningskjernen er av armert betong - ført ca. 2 m ned i den tette, uforvitrede leire. På luftsiden er det lagt stein fra tunneldriften; men da det ble for lite stein, er forsiden utført av jord og leire fra dalbreddene. For å komme fra det med minst mulig masser, er



tetningskjernen ført høyere opp enn jord- og steinfyllinga. Derved blir kjernen utsatt for store temperaturforandringer, med tendens til å slå risser. Rissene går dog ikke langt ned i fyllinga og får således neppe noen betydning for dammens tetthet.

Kjernen bør armeres på begge sider og i begge retninger. Tykkelsen bør ikke være under 20 cm, da utførelsen ellers blir for vanskelig og risikoen for ujevn betong for stor.

Tetningskjernen må føres så djupt ned at en har tilstrekkelig sikkerhet mot undervasking.

Før damjorden påføres, må eventuell matjord, slam, løs stein eller forvitrede jordlag i grunnen fjernes i tilstrekkelig djup. Damjorden legges på i 15-20 cm tykke lag som under vasstilsetting stemples, vibreres eller valsens til en fast masse. Dammens tetthet avhenger av stampearbeidet. En må derfor påse at dette utføres ordentlig. Valsing med trommel som har riflet overflate er heldig for en god forbindelse med neste lag. Kjøring fram og tilbake med beltetraktor har også vist seg å være brukbart ved sammenpressing av jordmassen i demninger.

Den såkalte hydrauliske fyllemetode går ut på at en, hvor forholdene tillater det, spylor jordmassene ut med vass-stråler. Jordvellingen ledes så i renner med 3 - 4 % fall inn på damstedet. Her har en på forhånd lagt opp litt av sideskråningene, som små jordvoller. Jordvellingen ledes opp i det midtre partiet som derved dammer et basseng. Etter sedimentasjon ledes vatnet forsiktig ut, og ny jordvelling ledes inn. Sideskråningene forhøyes litt for hver gang. Det har vært brukt dyse for 30 m vasstrykk og kapasitet 50 l/sek; men der angis at beste resultat fås ved 70 - 105 m trykk og 280 - 450 l/sek. pr. dyse.

Da jordfyllinger som regel setter seg, må dammen enten gis en overhøyde, eller en må foreta etterfylling. Da må sørges for god forbindelse mellom den nye jord og den som alt har satt seg.

Steinfyllinger for jernbaner i vårt land gis som regel en overhøyde =  $1/40$  h, sand- og grusfyllinger =  $1/42$  h, og fyllinger av leiraktige materialer  $1/12$  h.

Disse regler kan også tillempes på jorddammer, hvor h = damhøyden. Men dersom steinfyllingene ordnes og jordfyllinga komprimeres godt, kan overhøyden gjøres noe mindre, f.eks.  $1/20$  h.

Damjorda bør ikke inneholde grener o.l. fordi vatnet kan følge dem. Heller ikke bør en ha trevegetasjon på damsidene.

Den nødvendige overløp - eventuelt ved siden av dammen - må alltid



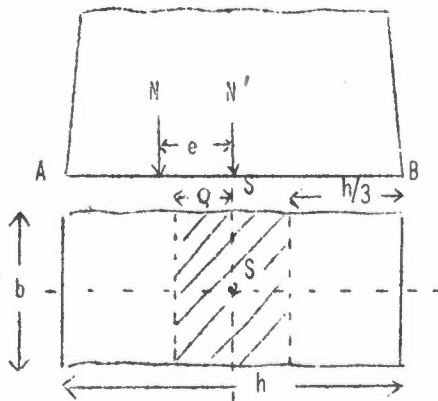
være åpent. Dette utføres i mur eller betong. Alle rør og lukegjennomføringer må være utført slik at der ikke blir lekkasje langs veggene.

## 2. Mur- og betongdammer (gravitasjonsdammer.)

De grunnleggende krav til en gravitasjonsdam er sikkerhet mot velting og sikkerhet mot glidning.

De eldste dammene kjennes fra Spania. De ble bygd på skjønn og erfaring. Det dannet seg etter hvert en teori for beregning. En ble oppmerksom på at stabiliseringsmomentet måtte være større enn veltingsmomentet. Dammens trykk mot grunnen må ikke være for stort. Dette må undersøkes både for tomt og for fylt basseng. Det ene tilfelle gir størst trykk på framsiden, - det andre på baksiden. Avskjæring av dammen i en eller annen fuge må heller ikke være mulig - likesom dammer ikke må gli på underlaget.

Teorien for beregning av tunge dammer støtter seg på teorien om



trykkets fordeling. Dersom kraften  $N$  går gjennom grunnflatens tyngdepunkt,  $S$ ,

får en jevnt fordelt belastning, eller

$$\sigma = \frac{N}{F} \quad (\text{fig. 36}). \quad \text{belastning} = \frac{\text{trykk}}{\text{fl.}}$$

Lar en  $N$  gå f.eks. til venstre for  $S$ , slik at avstanden  $e$  blir større og større, så tiltar trykket i  $A$ ; mens det avtar i  $B$  ( $e$  kalles eksentrisiteten).

I  $S$  kan en så anbringe 2 motsatt rettede krefter,  $N'$  og  $N''$ :

$$\underline{N' = N'' = N} \quad (\text{numerisk verdi})$$

$N'$  og  $N''$  opphever hverandre slik at de statiske forhold er uforandret; men vi ser også at:

1.  $N'$  bevirker et trykk over flaten.
2. kraftparet  $NN''$  med armen  $e$  gir et

moment  $= N \cdot e$ . Herav framgår at det eksentriske trykk ikke er annet enn trykk + bøyningsspåkjenning.

Vi har da

$$\left. \begin{aligned} \sigma_A &= \frac{N}{F} + \frac{N \cdot e}{W} \\ \sigma_B &= \frac{N}{F} - \frac{N \cdot e}{W} \end{aligned} \right\} \text{belastning}$$

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{N \cdot e}{W}$$

$$W = \text{grunnflatens motstandsmoment} = \frac{bh^2}{6}$$

11 s 12

*Kraft - andelseverdi /  
gjf. modst. moment < trykk /  
gjf.*

*trykk - 23 -*

*strekk*

Det er trykk så lenge  $\left[ \frac{N \cdot e}{W} < \frac{N}{F} \right]$  og strekk når  $\left[ \frac{N \cdot e}{W} > \frac{N}{F} \right]$ . Det er da en grenseverdi av  $e$  hvor  $\frac{N \cdot e}{W} = \frac{N}{F}$ . I det tilfelle er  $\sigma_B = 0$  og  $\sigma_A = 2 \frac{N}{F}$ . Denne verdi av  $e$  kalles kjerneradius eller den halve kjernevidde og betegnes med  $q$  (rho). Vi beregner kjernegraden for rektangulært tverrsnitt. For grensetilfellet er  $e = q$  og  $\frac{N}{F} = \frac{N \cdot q}{W}$  hvorav

$$q = \frac{W}{F} = \frac{bh^2}{6 \cdot b \cdot h} = \frac{h}{6}$$

En får da 4 tilfelle:

1.  $e = 0$  :  $\sigma = \frac{N}{F}$  i alle punkter av grunnflaten.
2.  $e < q$  : eksentrisk trykk; men i hele tverrsnittet er det bare trykk.
3.  $e = q$  : grensetilfelle; i hele tverrsnittet er det bare trykk, men  $\sigma_{\max} = 2 \frac{N}{F}$  og  $\sigma_{\min} = 0$ .
4.  $e > q$  : Det er trykk i bare en del av tverrsnittet og  $\sigma_{\max} = \frac{N}{F} + \frac{N \cdot e}{W}$  ved A; men ved B er det strekk:  
 $\sigma_B = \frac{N}{F} - \frac{N \cdot e}{W}$ , under forutsetning av fast forbindelse som tåler strekk. Dette er som regel ikke tilfelle ved dammer.

Derfor må disse konstrueres slik at resultanten av egenvekta og vasstrykket på framsida faller innenfor midtre tredjedel av grunnflaten. Dammen må også være stabil om en får vasstrykk i åpne fuger i eller under den. Det kan da kreves at resultanten, når en regner med en del eller fullt vasstrykk nedenfra, også skal falle innenfor midtre tredjedel. Men det tillates ofte, når en regner med fullt vasstrykk under framsida og 0 ved baksida, at R kan falle utenfor kjernen; men innenfor damprofilet. Ved undersøkelse av stabiliteten kan en beregne eller konstruere R for en rekke snitt nedover f.eks. med 1 m avstand fra toppen. Når en så forbinder skjæringspunktene, mellom snittlinjen og R i hvert snitt, får en den såkalte trykklinje. Av det som før er sagt, vil en forstå at denne trykklinje må falle innenfor den midtre tredjedel, sentralkjernen, dersom en ikke skal få strekk på noe sted i dammen. Dette gjelder både for fullt og tomt basseng.

Når trykklinjen for fullt basseng konstrueres, går en ut fra at vassstanden når til toppen av dammen. Er det bevegelig flomløp i dammen, går en ofte ut fra at vassstanden må kunne stige over dammen om ikke flomløpet åpnes til rett tid.

Det teoretisk riktige dam-profil, er et triangel med topp i vassspeilet; men av praktiske grunner kan en ikke bygge slik. Dammen må ha en viss kronebredde; for større dammer 2 til 5 m, for små dammer mindre. En skråning av ca. 4 : 1 på vass-siden gir den mest stabile gravitasjonsdam. Men i praksis er det alminnelig å utføre dammen med loddrett eller nesten loddrett forside, f.eks. skråning 20 : 1 til 10 : 1. Den loddrette forside er brukbar for dammer med høyde mindre enn 25 m. Ved mindre dammer vil tverrprofilen være trapesformet, dvs. rette begrensninglinjer. Ved større, høye dammer kan begge sidelinjer i profilet være rette, brutte eller sammensatt av rette linjer og kurver.

Ved beregningen av stein- og betongdammer settes romvekten av muren til 2,2.

Som før nevnt må maksimaltrykket på grunnen ikke overstige det tillatte. For fjell settes dette til 10 - 20 kg pr.  $\text{cm}^2$ ; men norsk fjell er som regel av så fast beskaffenhet at det tåler opptil 50 kg pr.  $\text{cm}^2$ . Fast sand og grus 4-6 kg pr.  $\text{cm}^2$ .

For å beregne spenningen dekomponeres R i det angjeldende snitt i en vertikal og en horisontal komponent. Den vertikale komponent anbringes hvor resultanten skjærer ut. Spenningen i forsiden, vass-siden, beregnes for tomt basseng og i baksiden, luftsiden, for fullt basseng.

Dette er tilstrekkelig for mindre dammer; men for større, høye dammer må en også undersøke spenningen i selve murverket. Denne spenningen kan beregnes for et snitt loddrett på resultanten (etter Bouvier). Før en kommer opp i ca. 30 m høyde, er det som regel ingen fare for at spenningen blir for stor.

En må også være oppmerksom på at når en er nødt til å regne med stort undertrykk, oppdrift, flyttes resultanten bakover i profilet og den får en mindre skrå helling. Foruten at dette minsker stabiliteten, øker det faren for glidning.

*ul 8.5.26*

2.1. Stabiliserings- og veltingsmoment.

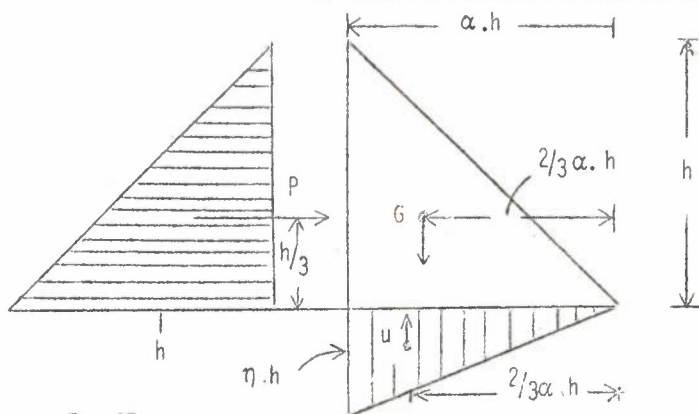


Fig. 37

$$P = \frac{h \cdot h}{2} = \frac{1}{2} h^2$$

$$M_P = \frac{1}{2} h^2 \cdot \frac{h}{3} = \frac{1}{6} h^3$$

$$U = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot h \cdot \eta h = \frac{1}{2} \alpha \eta h^2$$

$$M_u = \frac{1}{2} \alpha \eta h^2 \cdot \frac{2}{3} \alpha \cdot h$$

$$\text{Stabiliseringsmomentet, } M_G = G \cdot \frac{2}{3} \alpha \cdot h = \frac{1}{2} \gamma \cdot \alpha \cdot h^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot h = \frac{1}{6} h^3 \cdot 2 \alpha^2 \gamma$$

$$\text{Veltingsmomentet} = M_P + M_u = \frac{1}{6} h^3 + \frac{1}{2} \alpha \eta h^2 \cdot \frac{2}{3} \alpha \cdot h = \frac{1}{6} h^3 (1 + 2 \eta \alpha^2)$$

$$\text{Sikkerheten mot velting, } S = \frac{M_G}{M_P + M_u} = \frac{2 \alpha^2 \gamma}{1 + 2 \eta \alpha^2}$$

Dammens forside er her forutsatt vertikal. Løses denne ligning med hensyn på  $\alpha$ , får en følgende uttrykk:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{S}{\gamma - \eta \cdot S}}$$

Ligningen sier at bredden av en gravitasjonsdam er avhengig av materialets egenvekt,  $\gamma$ , den sikkerhet som forlanges, samt undertrykkets størrelse.

Undertrykket må en vurdere skjønsmessig. Er f.eks.  $\gamma = 2,2$ ,  $S = 1,5$  får en, når  $\eta = 0,5$  :  $\alpha = 0,72$

"  $\eta = 1,0$  :  $\alpha = 1,04$

$\eta = 0,5$  vil si 50 % undertrykk i dammens forkant. Tilsvarende dambredde blir 70 % av høyden. I alminnelighet forlanges sikkerhet 1,5-2.

## 2.2. Trykklinjens konstruksjon.

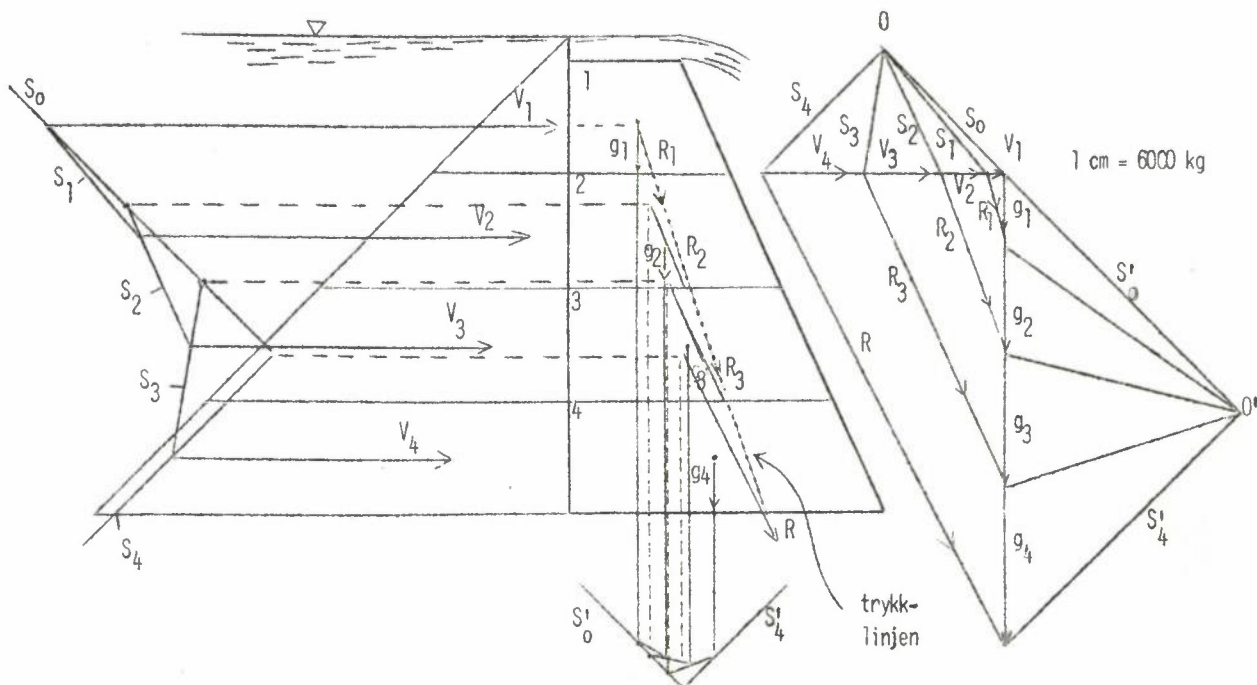


Fig. 36



Eks. Oppgaven kan være å konstruere en dam for å skaffe magasin til vatning.

Dammens høyde skal være 6 m. Vi må da prøve oss fram til vi finner et rimelig, stabilt profil. Dammens forsiden lages vertikal og botnbredden settes = 0,7 h.

Profilen deles opp i seksjoner, som fig. 38 viser. Vekten av og vasstrykket for hver seksjon regnes ut.

I hver profilseksjon må en finne partialvektens angrepspunkt = tyngdepunktet i de respektive trapeser. Det samme gjelder vasstrykket. Trykket  $v_2$  f.eks., angriper i tyngdepunktet av det tilhørende trapes i vasstrykkdiagrammet. En tegner så opp kraftpolygonen. Her kan resultatene umiddelbart trekkes opp. Resultantenes angrepspunkter finnes ved å konstruere tau-polygon både for de vertikale krefter og for vasstrykk-kreftene. Fremgangsmåten fremgår av fig. 38.

Til slutt trekker en opp trykklinjen. Dersom det viser seg å være unødig stor sikkerhet, kan en velge et snauere profil og så konstruere trykklinjen på nytt. Å bygge altfor solid, gir jo unødig kostnad. Dersom trykklinjen faller utenfor sentralkjernen, kan en f.eks. legge til litt i profilet nedentil på vass-siden. Derved rykker dammens tyngdepunkt til venstre i figuren. Forsiden blir da skrånende.

### 2.3. Beregning av botntrykket.

#### a) Fullt magasin.

Resultantens vertikale komponent finner vi av kraftpolygonen, enten direkte, som i dette tilfelle, eller ved å dekomponere R.

Eksentrisiteten måles på figuren, i dette tilfelle  $\approx 0,5$  m ( $M = 1/100$ ). Damprofilets bredde ( $h$ ) = 4,2 m.

Undersøkelsen gjelder for en lengde = 1 m (normalt popiret).

Normalkraften,  $N \approx 38000$  kg.

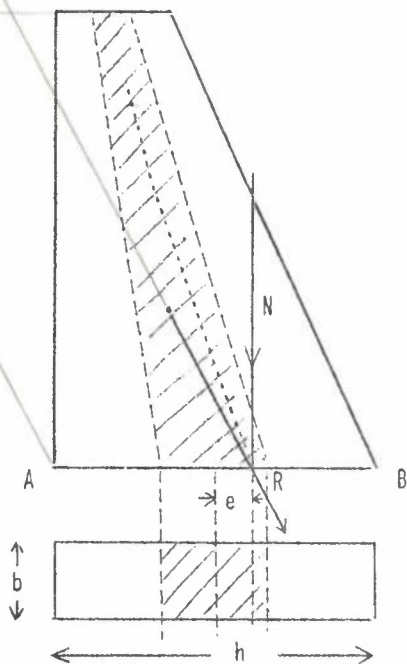


Fig. 39

$$\sigma_B = \frac{N}{F} + \frac{N \cdot e}{W} = \frac{N}{b \cdot h} + \frac{N \cdot e \cdot 6}{b \cdot h^2} = \frac{38000}{100 \cdot 420} + \frac{38000 \cdot 50 \cdot 6}{100 \cdot 420^2} = 0,9 + 0,65 = \underline{1,55 \text{ kg/cm}^2}$$

Da  $e < q$ , blir  $\sigma_A$  trykkpåkjenning.

*Kjernerad < halve kjerneviddelse,*



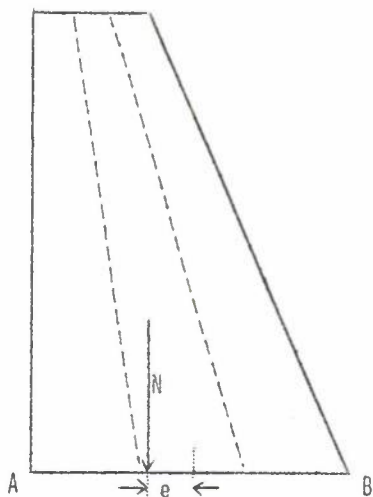


Fig. 40

b) Tomt magasin.

$N = \text{dammens vekt} = 38\,000 \text{ kg.}$

$e = 60 \text{ cm.}$

$$\sigma_A = \frac{N}{F} + \frac{N \cdot e}{W} = \frac{N}{b \cdot h} + \frac{N \cdot e \cdot b}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_A = \frac{38000}{100 \cdot 420} + \frac{38000 \cdot 60 \cdot 6}{100 \cdot 420^2} = 0,9 + 0,77 = \underline{1,67 \text{ kg/cm}^2}$$

Vi ser at både for tomt og fullt magasin faller resultanten innenfor sentralkjernen. ~~En~~ grunnen slik at vi må regne med fullt vasstrykk under forkanten og f.eks. O under bakkanten, får resultanten, R', et annet forløp. Den faller nå utenfor sentralkjernen, men holder seg innenfor damprofilen. Som en ser, får den også en mer ugunstig retning, fig. 40.

2.4. Utførelse.

I en gravitasjonsdam er nå betong det vanlige byggemateriale. Men ved vassbyggingarbeider settes mye større krav til betongen enn i vanlig husbygging. Dette vil en forstå dersom en er oppmerksom på årsakene til damskader som er oppstått både her i landet og i andre land. Undersøkelsene har brakt klarhet i dette:

1.° Sement, avbundet og herdnet, består av en rekke kjemiske forbindelser som kan deles i tre grupper:

- a) Lett oppløselige natrium- og kaliumforbindelser.
- b) Kalsiumhydroksyd - også oppløselig.
- c) Tungt oppløselige dobbelt-silikater.

Går det surt eller nøytralt vann gjennom betongen, vil alkaliene vaskes ut først, deretter kalsium og til slutt de tungt oppløselige silikater.

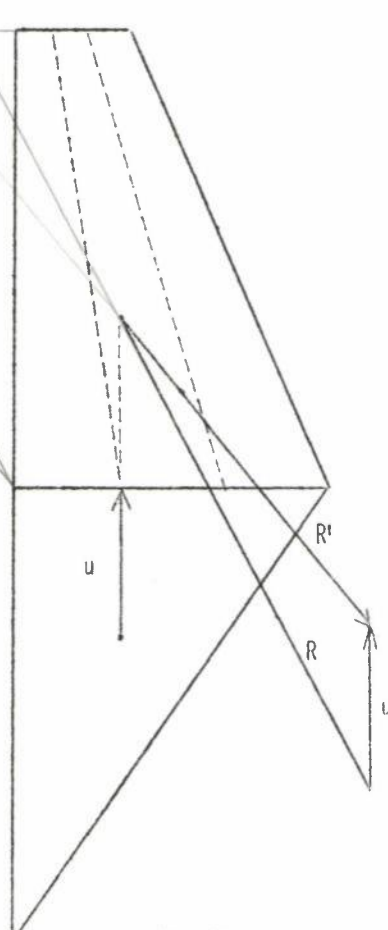


Fig. 41

Alkalisk vatn vil ikke ha samme oppløsende virkning. Har en alkalis-  
lisk, slamførende vatn, vil derfor en dam som til å begynne med er porøs,  
etter hvert tettes. Dette forklarer at en byggemetode som er funnet bruk-  
bar i Sentral-Europa ikke uten videre kan overføres hit. Vatnet - særlig  
i norske høyfjellsvassdrag - er som regel usedvanlig rent og med pH ca.  
6,0.

2.<sup>o</sup> Dammer kan være utsatt for meget store temperaturforandringer med  
påfølgende volumvariasjon. Under byggingen vil betongmassene avkjøles  
meget langsomt i en gravitasjonsdam. Avkjøling skjer først i ytterflaten  
som derfor får strekkspenning. Under avkjøling om vinteren vil ytter-  
flatene avkjøles lenge før temperaturen i dammens indre følger etter. Da  
betongens strekkfasthet er langt mindre enn de strekkspenninger som opp-  
står, får en risser i ytterflaten, bl.a. på vass-siden. Gjennom slike  
risser i tetningssjiktet kommer vatn inn i betongen bak dette og trekker  
seg videre: betongen utvaskes. En er nå av den oppfatning at puss på  
vass-siden er helt virkningsløs. Den får meget lett risser og dammer  
ingen beskyttelse for eventuell mager betong bak. Puss lages jo i dette  
tilfelle av meget fet mørtel, f.eks. 1:2. Det store sementinnhold med-  
fører større risiko for rissdannelse under herdningen. Selv om disse  
rissene først er meget tynne, vil de etter hvert forstørres ved frostens  
hjelp.

Steinkledning er heller ingen beskyttelse. Steinene kryper ved av-  
kjøling, og det blir fine fuger mellom stein og mørtel.

De forholdsregler en da bør ta, må gå ut på:

- a) å hindre rissdannelser.
- b) å gjøre betongen motstandsdyktig mot utvasking.
- c) beskyttelse av de egentlige damkonstruksjoner mot vatnets påvirkning.

a) Å minske betongens tendens til å få risser, er først og fremst et  
spørsmål om å hindre temperaturstigning under herdningen. Ved store  
betongmasser kan det bli meget høy temperatur, av størrelsesorden 100° C  
når vanlig Portlandsement benyttes. Til dels har en derfor brukt spesial-  
sement med låg avbindingsvarme (low-heat sement) samt kunstig kjøling av  
massen (innstøpt vassledninger). Det samme oppnås ved å benytte slanke,  
elastiske konstruksjoner: platedammer (jernbetong).

Ellers fås en volumforandring på grunn av fuktighetsvariasjon. Det  
har vist seg at jo større mengder sementvelling i betongen, desto større  
er de volumforandringer som skyldes fuktighetsvariasjon. Fete blandinger  
og blandinger med stor plastisitet har derfor større volumforandringer  
enn magre og tørre blandinger.

Mekanisk bearbeiding av betongmassen, vibrering eller stamping, i formene er meget ønskelig for en volumbestandig betong.

Den nye sement - ekspanderende sement - som enda er på forsøksstadiet, kan muligens få betydning for dam-bygging i framtiden.

b) Når det under norske forhold har vist seg at både puss og steinkledning er lite verd, har en i mange tilfelle ikke annet å gjøre enn å støpe en dam som tværs igjennom består av mest mulig vasstett betong. Hvis vass-siget gjennom dammen er så lite at vatnet fordampes fra luftsidens like fort som det trekker seg igjennom betongen, vil de oppløste salter etter hvert avlagres i yttersjiktet. Betongen skulle da bli tettere og tettere etter hvert. En slik betong er det ikke umulig å lage.

For det første må en sette store krav til tilsatsmaterialet, sand og stein. Sanden må være ren og fri for humus-syre samt vel gradert. Dette siste forhold er meget viktig. Sammen med tilsvarende steinmateriale får en derved et tilsatsmateriale med høyest mulig romvekt, dvs. minst mulig porevolum. Den blandingen av sand og stein som gir største litervekt, krever minst sement og gir lettest tett betong. Det gjelder nemlig også å gjøre betongen så mager som mulig. Dette er alltid det billigste; men det gjør også betongens svinn mindre og gir dermed mindre fare for sprekker. Erfaring har også vist at denne blanding av materialstørrelsene kommer nær den blanding som krever minst sementvelling for en gitt plastisitet. Når det gjelder vasstett betong, er det viktig å bruke et riktig forhold mellom vatn og sement. Dette uttrykkes ved den s.k. vatn-sementfaktor. Sementvellingens oppgave er for det første å fylle hulrommene i tilsatsmaterialet. Dernest er et visst overskudd nødvendig til fuger mellom sand- og steinpartiklene. Dette nødvendige overskudd angis til 10 - 15 % for maskinstampet eller vibrert betong og 20 - 25 % for alminnelig utstøpt betong.

Det har vært vanlig praksis å blande materialene etter volum. Dette har flere mangler. Når det gjelder viktigere arbeider som dambygging, går en nå mer og mer over til å blande etter vekt. Det er flere metoder til å bestemme det hensiktsmessige og riktige blandingsforhold for de foreliggende materialer, f.eks. Bährner-metoden (se en eller annen betong-teknologi). Til hjelp har en her forskjellige diagrammer eller tabeller. Framgangsmåten er i korthet følgende:

Vi kan tenke oss at vi skal støpe en dam av tett betong. Vi begynner med å blande sand og stein sammen i forskjellige forhold og velger den sammensetningen som gir største vekt, f.eks. 1,95 kg pr. liter. Pukkens maksimale størrelse er  $1\frac{1}{2}$ ". Vi kan ikke skaffe vibrator, og må



regne med 20 % overskudd av sementvelling; tilsvarende tabell brukes. Med maksimum steinstørrelse  $1\frac{1}{2}$ " og litervekt 1,95 kan vi lese av tabellen at for hver vektdel sement skal vi bruke 4,8 vektdeler sand og puk. Vi kan også samtidig lese av at vatnsementfaktoren skal være 0,46 à 0,47 d.v.s. for hver kg sement brukes 0,47 kg vatn. Etter dette kan mengdene pr. sats beregnes.

Det er også av stor betydning hvordan forholdene i herdningstiden er. Det gjelder generelt at betong av høy kvalitet kan oppnås enten ved å bruke høy sementkonsentrasjon i vellingen og forholdsvis liten herdningsbeskyttelse - eller ved å bruke en lågere sementkonsentrasjon, og da forhøye vellingens kvalitet ved langvarig beskyttelse. Det har vist seg ved forsøk at betongens beskyttelse i herdningstiden er av større betydning for dens vasstetthet enn for dens trykkfasthet.

Denne beskyttelse i 8 - 14 dage skjer ved dekke av fuktige sekker, halm og lignende. En kan og smøre over et vasstett stoff f.eks. linolje, slik at fordunstning hindres.

I praksis viser det seg at en med førsteklasses materialer kan få tett betong til bruk i tynnere konstruksjoner med ned til ca. 360 kg sement pr.  $m^3$  betong. I grovere konstruksjoner, som gravitasjonsdammer, hvor en har anledning til å bruke grovere tilsatsmaterialer (prosentstein), kan sementinnholdet være ned til 300 kg pr.  $m^3$ .

c) Det har vært ofret mye arbeide på å finne stoffer som beskytter en dam ved å smøres på vass-siden. Hittil har det ikke vært mulig å finne noe stoff som gir tilfredsstillende resultater i norsk klima. Derimot er det mulig å anbringe beskyttelsesvegger av metall. Jernbetongplate har også vært brukt (Ringdalsdammen).

En gravitasjonsdam kryper også i lengderetningen. For å hindre sprekkdannelse deles dammen opp i seksjoner med fuger i 8 - 12 m avstand. Disse fugene går fra fundamentet til murkronen. I fugene legges gjerne fortanning-djup 10 - 30 cm - som tettes med støpt asfalt eller kopperplate. Kopperplaten settes vertikalt 30 - 70 cm fra forsiden og er 0,7 - 3 mm tykk. Den går 20- 30 cm inn i betongen på hver side og lengden på platen langs fugen ca. 10 cm. Platen skjøtes ved klinking og lodding eller sveising. Den strykes på begge sider med asfaltkitt for ikke å bli angrepet av sementen. Kopperplaten støpes inn i fet mørtel eller betong på begge sider av fugen. Dette gir beste tetningen.

Ved tetning med asfaltkitt spares ut et rundt eller firkantet

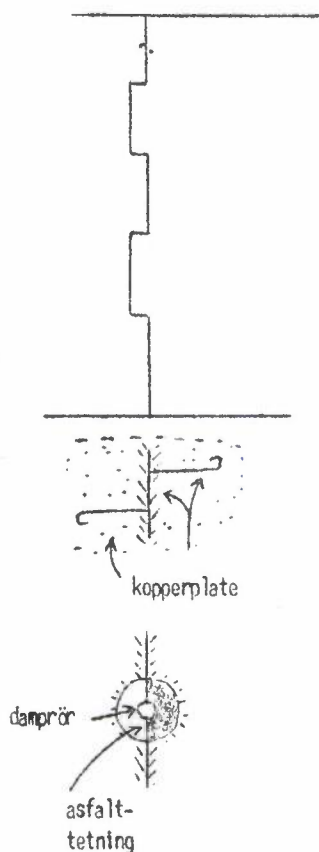


Fig. 42

hol ved støpingen, diameter ca. 20 cm, fra kronen og ned til fundamentflaten. Dette fylles senere med kitt. For å få holet godt fylt kan en sette ned to damprør, (enten det ene inni det andre eller ved siden av hverandre og forbundet nedentil). Ved hjelp av damp smeltes kittet helt ned til fjellet. Rørene lar en stå slik at massen kan smeltes om igjen hvis tetningen blir dårlig. Kittet bør inneholde minst 50 % asfalt ved større trykk.

Fugen dannes ved at en først støper opp den ene seksjon. På denne veggen smøres leirvelling eller fett for å hindre at neste seksjons vegg biter seg fast.

Arbeidsfuger blir til når en om kvelden slutter støpinga og fortsetter neste morgen, eller en må holde opp med støpinga for å bygge høyere forskaling. Oppå støpen danner det seg da en tynn, fet hinne som hindrer påfølgende betongmasse i å bite seg fast til den underliggende. Hinnen må derfor fjernes ved skrubbing med stiv børste og god vatning. Platen kan også renses ved sand-

blåsing og vatnes godt. En begynner så arbeidet igjen med et tynt lag fet mørtel. Slike horisontale fuger ordnes helst med fortanning. En bør for øvrig forsøke å få dem mest mulig loddrett på trykkretningen.

Som før nevnt vil en helst ha godt fjell i fundamentet til en gravitasjonsdam. Som regel må det øverste parti med sprekker fjernes. En trappetrinnsformet flate fås ved forsiktig sprengning. Alt som er løst, meisles eller spettes vekk, flaten spyles godt og eventuelle sprekker gyses godt igjen med fet sementmørtel. Dersom en slipper ned et spett, kan en høre på klangen om fjellet er fast. Over damfoten legges så et lag fet mørtel, bl. 1: 2 eller betong av blanding 1: 2: 2 - hvorpå selve mur- eller betongmassen bringes på plass.

Som foreløpig rettesnor, når en bruker blanding etter volum kan nevnes at en kan regne med 370 - 500 kg sement pr. m<sup>3</sup> ferdigblandet betongmasse. Tilsvarende blandingsforhold 1: 2: 2,5 til 1: 1,5: 1,5.

Omtrentlige vektsforhold fås ved å øke tallene for sand og stein med ca. 10 % (1: 2: 3 etter volum svarer således til ca. 1: 2,2: 3,3 etter vekt).



Ved blanding etter vekt går en alltid ut fra tørre materialer. Er sanden fuktig eller rå, forandres volumet. Det trenges da korrigerende av blandingsforholdet forat en pr. sats skal få riktig mengde med solide materialer og vatn.

I betong som støpes i store masser, brukes som regel sparestein. Kan steinen skaffes billig, får en derved billigere betong; men en oppnår også på grunn av mindre sementinnhold pr. m<sup>3</sup> ferdig mur at betongen ikke blir så varm og følgelig krymper mindre.

Sparesteinen må som regel ikke legges nærmere forskalinga enn 10-20 cm. Den må legges slik at en ikke får luftblærer eller samling av sementslam under den. Den minste avstand mellom steinene retter seg etter størrelsen av største pukkestein, som lett må kunne gli ned mellom sparesteinene. Derfor blir det lettere å bruke mye sparestein når en har små pukkestein. Ved 7 cm pukkestein f.eks. kan minste avstand mellom sparesteinene være 15-20 cm. En kan sjelden regne med mer sparestein enn 20-25 % av den samlede masse. Størrelsen på sparesteinen må ellers velges etter tverrsnittet og de krav som stilles til betongen med hensyn til styrke og tetthet.

Det bør ikke brukes større stein enn 1/2 til 1/3, ved viktigere konstruksjonsdeler ikke større enn 1/4 til 1/5 av murens tykkelse. Ved bruk av sparestein er det en forutsetning at betongens konsistens gjøres slik at massen pakker seg godt rundt steinen.

Om støpearbeidet ellers vises til forelesningene i bygningslæren eller en nyere betongteknologi.

Ved murdammer kan bruddsteinen legges uregelmessig i en meget våt betongseng (støpebetong) og der sørges for at alle fuger er godt fylt. Det er nødvendig å ha forskaling som dog kan være mindre tett.

Tørrmur kan benyttes hvor en har særlig god byggstein. Disse kan innbyrdes forbindes med jernklammer. På vass-siden må en sørge for særskilt tetning. I stillestående vatn kan en bruke jordfylling foran. Ved mindre dammer kan spekking brukes, likeså planke-lag eller betongvegg. En egen form for tørrmurdammer er de såkalte rosentorvdammer. I avstanden 1 - 4 m foran den egentlige dammur settes opp en tynn dammur med lodd-

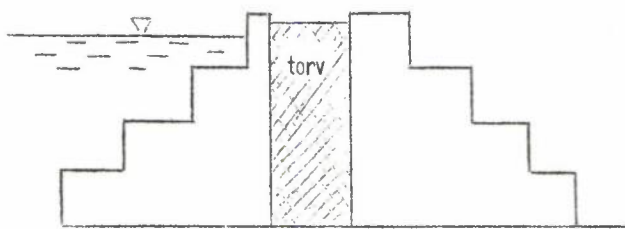


Fig. 43

rett side mot den bakre mur. Mellomrommet fylles med et tetningslag av torv. Slike dammer bør også stå på fjell. Tapping foregår gjennom muret

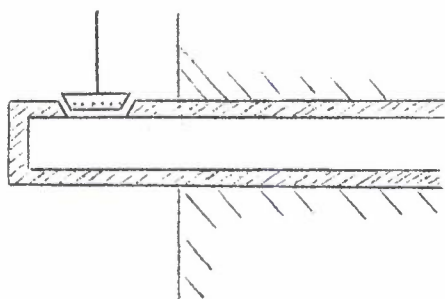


Fig. 44

kanal. På vass-siden er denne muret som en helt tett kasse; men i oversiden er det åpning som kan stenges ved hjelp av en konus-formet luke, fig. 44, som manøvreres fra damkronen.

Som før nevnt er også jernbetong anvendt i dammer. Den vanlige konstruksjon er en relativt tynn, skråttliggende plate som er opplagret på pillarer eller

bukker. En slik dam kalles platedam (også Ambursendam). Platen legges så mye på skrå at vasstrykket selv hjelper til å klemme dammen mot underlaget. Baksiden kan lages åpen eller lukket. Med åpen bakside får en fritt overfall; men med lukket bakside kan overfallet utformes som på en gravitasjonsdam. Er grunnen dårlig, blir det også her nødvendig å bygge en jernbetongbotnplate. Resultanten skal gå gjennom midten av underlaget.

### 3. Dammer av tre.

Tredammer brukes nå sjelden til permanente dambygg. Det vil særlig bli brukt i strøk hvor det faller billig og da fortrinnsvis til mer provisoriske dammer med mindre oppdemningshøyde, f.eks. fangdammer.

En tredam kan bli meget gammel om den stadig er under vatn; men blir den avvekslende våt og tørr, råtner den etter få år. Blir en del av dammen stadig under vatn, mens resten er avvekslende over og under vass-speilet, bør den delen som lett råtner, lages for seg. Den kan da fornyes uten at hele dammen må bygges om.

Tredammer har liten tyngde. Derfor bygges de som oftest med skrå vass-side, samtidig som de må støttes ved forankring eller belastning med f.eks. stein.

Den enkleste tredam er spuntveggdammen. En spuntvegg av tre består som regel av styrepåler, tenger og spuntplanker eller spuntpåler. Plankene må være rette og ha not og fjær eller på annen måte være utformet slik at en får god styring ved nedramminga samt god tetting. Det er heldig at plankene er så brede som mulig. 2 og 2 planker bindes ofte sammen med hakker. De spisses som fig. 45 viser, fordi de da trykkes bedre ihop under nedramminga. Det kan bli nødvendig å sette en jernklave på øvre

enden. Materialene til en spuntvegg må ikke være for tørre. "Spuntvegger" av tørre materialer har lettere for å slå seg når de blir våte.

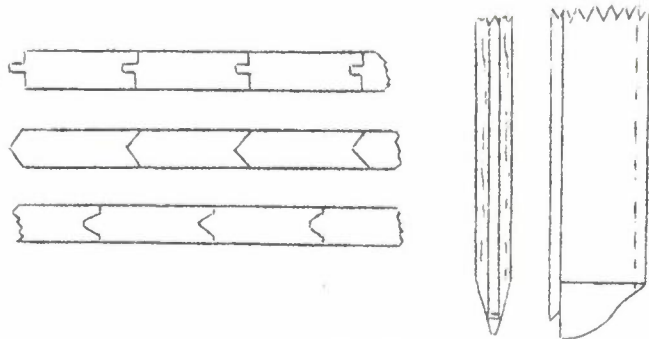


Fig. 45

Spuntveggen må drives så djupt at den får sikkert feste og samtidig stenger for vass-strømmen i jorda.

Planketykkelsen kan tilnærmet beregnes ved at plankeveggen betraktes som fast innspent med jordskorpen som innspenningssted. I virkeligheten blir det elastisk innspenning hvor det maksimale moment kan være mange ganger større enn kantmomentet.

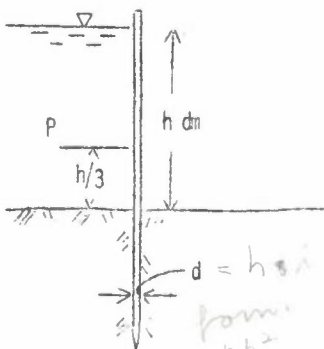


Fig. 46

Pr. m vegg lengde blir  $P = \frac{h^2}{2} \cdot 10 = \frac{10 h^2}{2}$  kg

Kantmomentet,  $M = \frac{10 h^2}{2} \cdot \frac{10 h}{3} = \frac{100 h^3}{6}$  kg cm

Regner med tillatt spenning,  $\sigma_b = 100$  kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma = \frac{M}{W}$  eller  $100 = \frac{100 h^3}{6 \cdot 100 d^2} = \frac{h^3}{d^2}$

$d = \frac{1}{10} \sqrt{h^3}$  cm.

*Si side 14 i Hydrostatikk*  
 $M = \frac{P l^2}{8}$   
 $D. s. 22$   
 $W = \text{gitt. metal moment}$   
 $\frac{b h^2}{6}$

Hvor det er mulig, bør spuntveggen forankres oventil, og oppdemningshøyden tas nødvendig over 1,5 m.

Blir en enkelt spuntvegg for svak, kan en ramme ned 2 eller flere

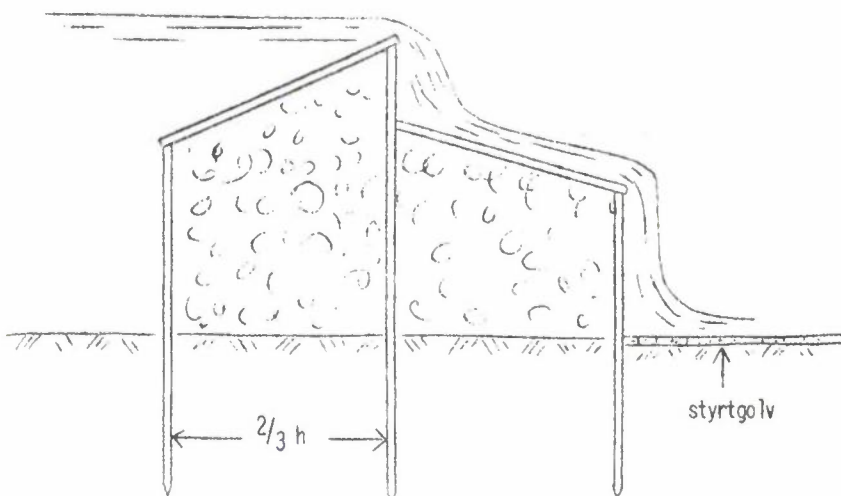


Fig. 47

vegger i innbyrdes avstand ikke under 2/3 av oppdemningshøyden. Veggene bindes sammen og kassen fylles med jord. Veggene beregnes for kombinert jord- og vass-trykk, og ifølge Hütte kan en

bruke formelen

$$d = 2,4\sqrt[3]{h}$$

(d i cm og h i meter)

Disse dammene må overdekkes hvis de skal ha overløp. Dette må også gjøres slik at eventuelt tømmer ikke får tak i enden på overdekkingsmaterialet.

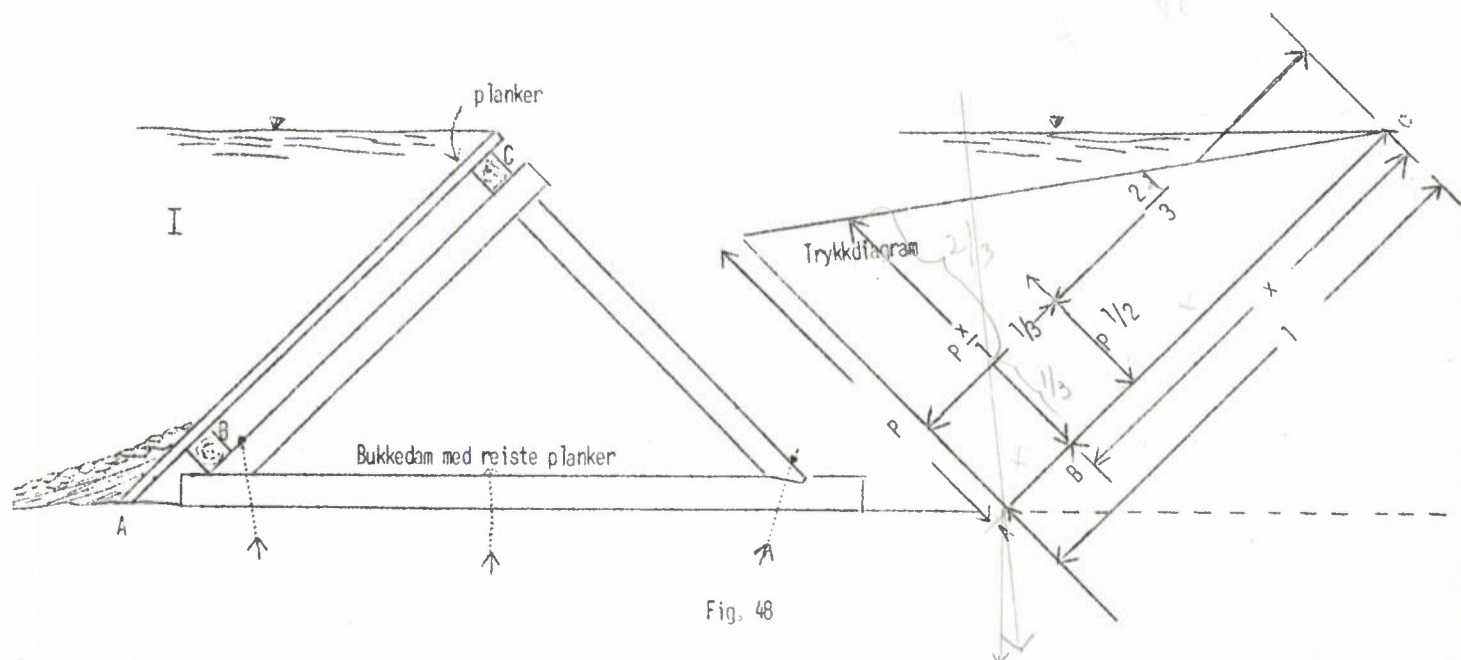


Fig. 48

3. 1. Bukkedammen bygges med en tett, skråliggende trevegg. Denne veggen bæres av bukker som er stilt normalt veggen. Veggen gjøres som regel av planker. Plankene kan reises eller legges horisontalt. I første tilfelle reises plankene mot horisontale puter (B og C). Når plankene legges horisontalt, kan det bli nødvendig å sette bukkene relativt tett. For å få tett vegg kan en bruke pløyde planker eller under- og overliggere.

Når plankeveggen blir våt, vil den utvide seg, og plankene presses derved sammen. Settes plankene kant i kant mot vasstrykk, bør de stå med



vrangsiden mot vatnet. Den kileformete fuge blir da mot vatnet og vil kunne tettes av forurensninger i det. Ellers er

partiet ved botnen det svake punkt. Her trenges tetning med jord (leirfyll), mose og stein. Dessuten kan det være nødvendig med belastning når plankene er opplagret som i fig. 48. Planken er opplagret på 3 punkter, A, B og C. Ved fullt vasstrykk vil plankeenden ved A ha tendens til å vippe opp på grunn av kontinuiteten i planken.

Bukkedammer passer best på fjell. De er alminnelig brukt som fangdammer.



Bukkene må festes i fjellet med splintbolter. Alle sammenhugninger må for øvrig sikres ved bolter eller haker.

Overløp kan fås ved en lokal sanking av kronehøyden. Med sidevegger kan en hindre at vatnet kommer borti bukkene.

3. 2. Dimensjonering av trematerialer i bukkedam.

I. Plankene reises på skrå.

Som fig. 48 viser har plankene 3 opplegg, A, B og C. De danner derfor et en gang statisk ubestemt system. Opplagertrykket B velges som statisk ubestemt størrelse og beregnes ved hjelp av likevektsbetingelsene samt de elastiske deformasjoner. På dette grunnlag blir formelen for B følgende:

$$B = \frac{P}{120(1-x)^2} \left( 3x^3 - 10 l^2 x + \frac{7 l^4}{x} \right)$$

Om betegnelsene, se fig. 48.

P er største ordinat i belastningsdiagrammet, d.v.s. oppdemningshøyden regnet i dm.

Planken er her videre betraktet som en bjelke som er 1 dm bred.

Ved beregning av momentene må en passe på å få belastningen i kg og momentarmen i m eller cm.

Opplagertrykk

X	A	B	C
1/3 l	0,222 pl	0,333 pl	÷ 0,055 pl
2/5 l	0,206 "	0,317 "	÷ 0,023 "
1/2 l	0,177 "	0,312 "	0,011 "
3/5 l	0,136 "	0,328 "	0,036 "
2/3 l	0,097 "	0,354 "	0,049 "
3/4 l	0,023 "	0,413 "	0,064 "
4/5 l	÷0,047 "	0,475 "	0,072 "

Vi velger oppdemningshøyden = 1,5 m, l = 2,0 m = 20 dm.

samt x = 1,60 m. ∴ x = 4/5 l

Samlet vasstrykk på en planke =  $\frac{15 \cdot 20}{2} = 150 \text{ kg (p.l = 15 \cdot 20)}$

Vi har da følgende opplagertrykk:

$$A = \div 0,047 \text{ pl} = \div 0,047(15 \cdot 20) = \div 14,1 \text{ kg}$$

$$B = 0,475 \text{ pl} = 0,475 \cdot 300 = 142,5 "$$

$$C = 0,072 \text{ pl} = 0,072 \cdot 300 = 21,6 "$$

Vi ser at A er negativ, d.v.s. det trengs belastning for å holde plankeenden nede. Videre fremgår det av tabellen at det samme blir tilfelle med C når avstanden x velges liten nok.

Tabellen gjelder bare ved fullt vasstrykk.

### Bjelkene B og C.

B. Belastning pr. m 1425 kg + egenvekt  $\approx$  1450 kg pr. m.

Avstand mellom bukkene settes = 2,5 m.

Vi betrakter dammen som provisorisk byggverk og setter  $\sigma = 100 \text{ kg/cm}^2$   
- ellers 60 - 80 kg pr.  $\text{cm}^2$ .

$$M = \frac{pl^2}{8} = \frac{1450 \cdot 2,5^2}{8} = 1135 \text{ kgm} = 113\,500 \text{ kg cm.}$$

$$W = \frac{M}{\sigma} = \frac{113\,500}{100} = 1135 \text{ cm}^3$$

7" x 8" har  $W_{\text{max}} = 1166 \text{ cm}^3$  eller  
rundt virke med d = 23 cm (midtmål)

C. Belastning pr. m bjelke = 216 kg. Dertil skjønsmessig tillegg for eventuelt tømmer-, is- eller bølgetrykk. Vi setter samlet belastning = 600 kg/1.m.

$$M = \frac{pl^2}{8} = \frac{400 \cdot 2,5^2}{8} = 470 \text{ kgm} = 47000 \text{ kgem}$$

$$W = \frac{M}{\sigma} = \frac{47000}{100} = 470 \text{ cm}^3$$

5" x 6" har  $W_{\text{max}} = 470 \text{ cm}^3$  eller rundt virke med d = 17 cm.

### Beregning av streveren.

Trykk 600 . 2,5 = 1500 kg. Lengde ca. 1,5 m

$$I_{\text{min.}} = 100 \text{ pt.lm}^2 = 100 \cdot 1,5 \cdot 1,5^2 = 337 \text{ cm}^4$$

3" x 4" har  $I_{\text{min.}} = 354 \text{ cm}^4$ .

I praksis vil streverens lengde kunne variere sterkt etter lendet. Dimensjonen må derfor avpasses etter lengden i hvert tilfelle for å hindre knekking.

### Plankene på vass-siden.

Den skråttliggende planken representerer egentlig en kontinuerlig bjelke på 3 støtter og er, som nevnt, en gang statisk ubestemt. Oppgaven

ville bli å undersøke hvor en får største moment, enten i feltet BC eller over støtten B. Imidlertid er en i dette tilfelle på den sikre side, samtidig som det er nøyaktig nok for et provisorisk byggverk, om en regner bare med momentet i feltet BC og planken som fritt opplagt på støttene B og C. En kan da bruke formelen

$$M = 0,128 \cdot P \cdot l,$$

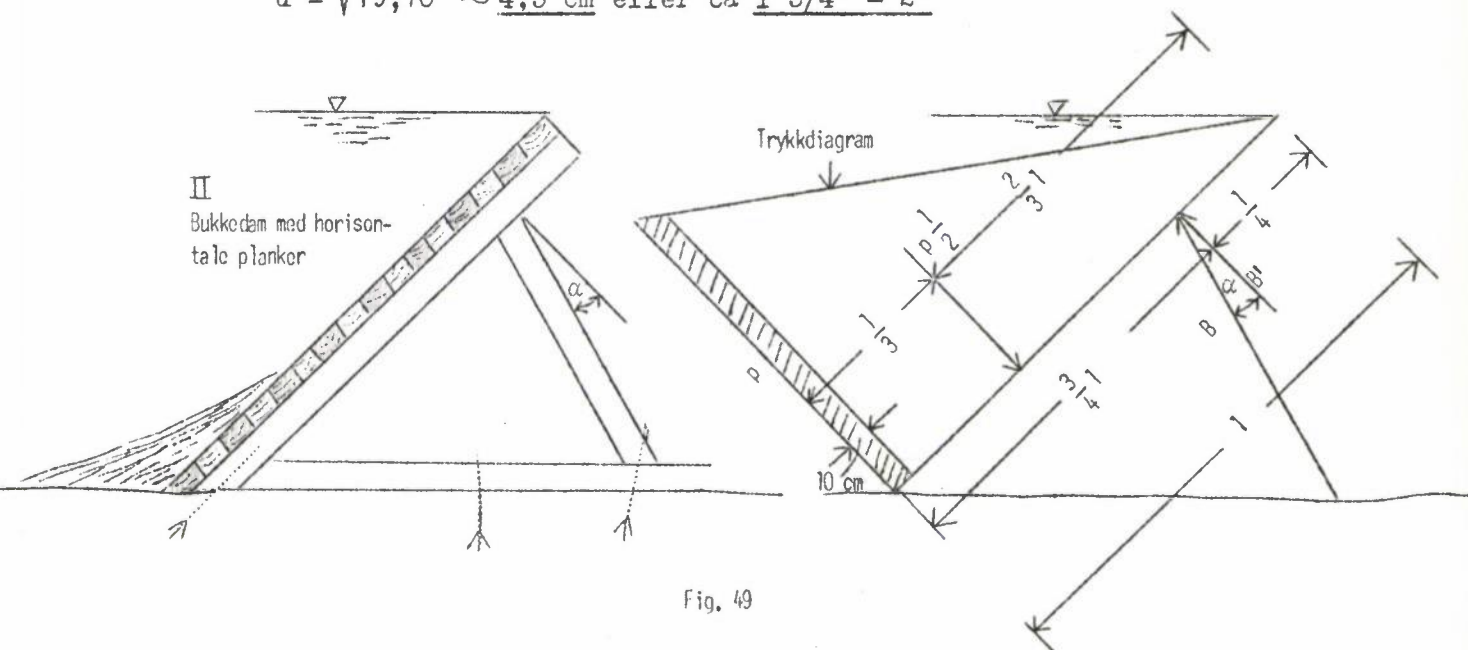
hvor  $P = p \frac{x \cdot x}{1/2}$  ( fig. 48),  $x = 1,6$  m,  $l = 2,0$  m,  $p = 1,5$  m

$$P = 15 \cdot \frac{16}{20} \frac{16}{2} = 96 \text{ kg}$$

$$M = 0,128 \cdot 96 \cdot 1,6 = 19,70 \text{ kgm} = 1970 \text{ kg cm.}$$

$$M = \sigma \cdot W \quad \therefore 1970 = \frac{60 \cdot 10 \cdot d^2}{6} \quad (\text{plankebredde} = 10 \text{ cm})$$

$$d = \sqrt{19,70} \approx \underline{4,5 \text{ cm}} \text{ eller ca } \underline{1 \frac{3}{4}'' - 2''}$$



### Beregning av plankene.

Vi antar at avstanden mellom bukkene er 1,6 m og at vi har ca. 5 m lange planker til disposisjon. En planke representerer da en kontinuerlig bjelke på 4 støtter. Plankene blir ikke ens belastet. Men om vi foretrekker å bruke samme plankedimensjon overalt, må vi beregne nederste planke, som er mest belastet. Plankebredden antas = 10 cm,  $P = 15$  (oppdemningshøyde 1,5 m),  $l = 20$  dm.

Av trykkdiagrammet tar vi ut belastningsflaten for nederste planke (det skraverte felt) =  $14,6 \text{ dm}^2$ . Belastning pr. løpende m planke =  $14,6 \cdot 10 \text{ kg} = 146 \text{ kg}$ .

Ved samtidig belastning i alle felt blir feltmomentene da noe mindre enn om plankene skulle betraktes som fritt opplagte, d.v.s. avskåret over hver bukk. Imidlertid vil de midtre støttemomenter bli praktisk talt like store som feltmomentene når plankene beregnes som fritt opplagte.

Momentformlen  $M = \frac{pl^2}{8}$  er derfor godt brukbar.

$$M = \frac{pl^2}{8} = \frac{146 \cdot 1,6^2}{8} = 46,7 \text{ kgm} = 4670 \text{ kgcm.}$$

$$M = \sigma \cdot W, \text{ hvor } W = \frac{b \cdot d^2}{6} \text{ cm}^3$$

$$4670 = 60 \cdot \frac{10 \cdot d^2}{6} \quad (\sigma = 60 \text{ kg/cm}^2)$$

$$d = \sqrt{47} = \underline{6,85 \text{ cm}}, \text{ eller ca. } \underline{2 \frac{3}{4}''}$$

Opplagertrykkene A og B (B') (se fig. 49.)

$$M_A = 0): B' \cdot \frac{3}{4} l - \frac{pl}{2} \cdot \frac{1}{3} = 0; \quad B' = \frac{4}{3} \frac{pl}{2 \cdot 3} = \frac{2}{9} pl$$

Når avstanden mellom bukkene er 1,6 m, blir

$$B' = \frac{2}{9} \cdot 15 \cdot 20 \cdot 16 = 1070 \text{ kg.}$$

$$A = \frac{pl}{2} - \frac{2}{9} pl = \frac{5}{18} pl.$$

Trykket B' er rettet normalt vegg; men streveren danner imidlertid en vinkel,  $\alpha$  med normalen. B' dekomponeres til en komponent i streveren, B, og en i bjelken under vegg.

$$B = \frac{B'}{\cos \alpha} = \frac{B'}{\cos 15^\circ} = \frac{1070}{0,9659} \approx 1100 \text{ kg.}$$

Komponenten, som gir strekk i bjelken =  $B' \tan \alpha = 1070 \cdot 0,2679 = 285 \text{ kg}$

Denne siste komponenten viser at det er nødvendig å forankre bukkene.

Streverens lengde er ca. 1,1 m.

$$I_{\text{min.}} = 100 \cdot P^t \cdot l^2 = 100 \cdot 1,1 \cdot 1,1^2 = \underline{133 \text{ cm}^4}$$

3" x 3" eller 2½" x 4" er rikelig dimensjon.

Beregning av bjelken under vegg.

$$M_x = B' \cdot \left(x - \frac{1}{4}\right) - p \frac{x}{1} \cdot \frac{x}{2} \cdot \frac{x}{3} = \frac{2}{9} pl \left(x - \frac{1}{4}\right) - \frac{px^3}{6}$$

$$M_{\text{maks.}} \text{ for } \frac{dM}{dx} = 0; \quad \frac{dM}{dx} = \frac{2}{9} pl - \frac{3px^2}{6} = 0$$



$$\frac{3px^2}{6l} = \frac{2}{9} pl; \quad x^2 = \frac{4}{9} l^2 \quad \text{og } x = \underline{\underline{\frac{2}{3} l}}$$

o:  $M_{\text{maks.}}$  for  $x = \frac{2}{3} l$  (x regnet ovenfra i fig. 49).

$$M_{\text{maks.}} = \frac{2}{9} pl \left( \frac{2l}{3} - \frac{l}{4} \right) - \frac{p}{6l} \left( \frac{2l}{3} \right)^3 = \frac{2}{9} \cdot \frac{5}{12} pl^2 - \frac{4}{81} pl^2 = \underline{\underline{\frac{7}{162} pl^2}}$$

Eller vi kan også si at vi har  $M_{\text{maks.}}$  hvor tverrkraften,  $Q_1 = 0$

$$Q = B' - p \frac{x}{l} \cdot \frac{x}{2} = \frac{2}{9} pl - \frac{px^2}{2l} = 0$$

$$x^2 = \frac{4l^2}{9} \quad \text{og } x = \underline{\underline{\frac{2}{3} l}}$$

$$M_{\text{maks.}} = \frac{7}{162} pl^2 = \frac{7}{81} Pl, \text{ hvor } P \text{ er samlet belastning på bjelken.}$$

$P = \frac{pl}{2}$  er egentlig arealet av trykkdiagrammet =  $\frac{15 \cdot 20}{2} = 150 \text{ dm}^2$ . Med avstanden 1,6 m mellom bukkene blir  $P = 150 \cdot 16 = 2400 \text{ kg}$ .

$$M_{\text{maks.}} = \frac{7}{81} P \cdot l = \frac{7}{81} \cdot 2400 \cdot 2 = 415 \text{ kgm} = 41\,500 \text{ kgcm.}$$

$$\text{Med } \sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2 \text{ blir } W \text{ nødv.} = \frac{M}{\sigma} = \frac{41500}{80} = 520 \text{ cm}^3$$

$$\text{Regnes } \sigma = 100 \text{ kg/cm}^2, \text{ blir } W \text{ nødv.} = \frac{41500}{100} = 415 \text{ cm}^3$$

5" x 5" med  $W_{\text{maks.}} = 470 \text{ cm}^3$  kan nok brukes, iallfall i provisorisk dam (fangdam).

#### 4. Tømmerkistedammer (laftedammer).

Tømrede kasser fylt helt eller delvis med stein brukes ofte som fangdammer, spesielt på vanskelige steder, f.eks. i sterke stryk i større elver. En kan enten bygge sammenhengende dam tvers over et elvefar - eller rundt en byggeplass - eller en kan sette ut tømrede pilarer og så stenge igjen åpningene mellom dem med bjelker eller nåler.

Disse dammer kan brukes både på løs, steinet grunn og på fjell. Er grunnen løs, må botnen foran dammen tettes med jordfylling. Det er her nødvendig å hindre undervasking.

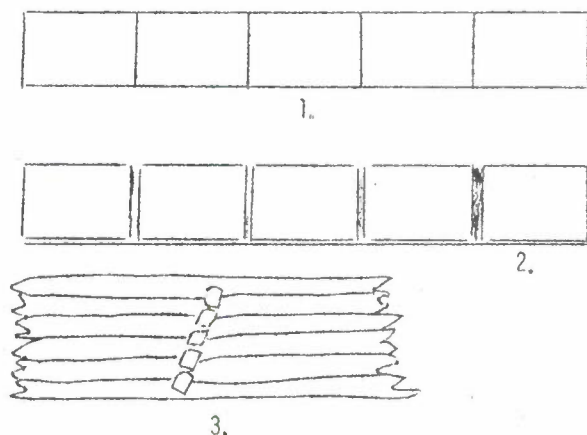


Fig. 50

hakebolter, fløtes på plass og senkes ved å lastes ned med stein. De må være tunge nok til å stå ved egen vekt. Som ekstra sikkerhet kan vass-siden gjøres noe skrå - slik at botnbredden blir f.eks. 1 - 1,5 x høyden. På

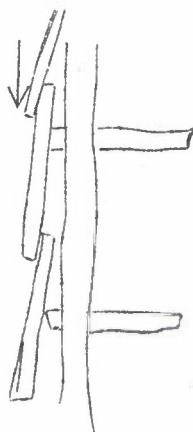


Fig. 51

Kassen kan gjøres kontinuerlig tversover elveløpet (1), eller det kan være enkle kasser, fylt med stein, som støtter den foran liggende tette trevegg (2). I kassene tømres inn tverrvegger (3), gjerne på skrå forat steinen skal presse kassen ned.

Er det vatn på byggeplassen, tømres kassene ferdig på land. Ofte utføres botnen tilpasset etter loddingen av fjellprofilen. Kassene bindes sammen med

fjell kan det være nødvendig å bolte kassene fast.

Brukes laftedammer som fløtningsforbygging må der legges fendere foran til å hindre at laftene støtes i stykker, fig. 51. Sand og grus må ikke brukes som fyll direkte mot treverket. Leire er godt skikket; torv er også brukt i stor utstrekning.

Ved vekslende vass-stand står tredammene bare 20-30 år.

### III. BEVEGELIGE DAMMER.

I mange tilfelle er det nødvendig å sørge for at vass-standen ikke kan stige høyere enn den fastsatte oppdemningshøyde. En må da ha flomåpninger som kan åpnes og stenges. Dette er bevegelig dam.

De bevegelige dammer brukes som regel sammen med en fast dam. I enkelte tilfelle må det bygges bevegelig dam over hele løpet, mens det i andre er nok å bygge på et kortere stykke.

En bevegelig dam må alltid stå på et solid fundament av tre, mur eller betong. Dette fundamentet må kunne tåle vasstrykket. Den bevegelige dam har liten tyngde i seg selv. Når løpet er stengt, må fundamentet være stabilt nok til å tåle hele vasstrykket. Det er derfor nødvendig å foreta stabilitetsundersøkelse for denne del av damprofilen. Kommer trykklinjen utenfor sentralkjernen, blir det nødvendig med forankring. Dette kan være tilfelle både i botnfugen og høyere oppe i profilet.

Når den bevegelige dam er lang, deles den ofte opp i flere ved at det bygges opp pilarer i passe avstand. Mellom disse bygges så den bevegelige dam.

Det er mange typer av bevegelige dammer og de får gjerne navn etter stengeinnretningen.

1. Bjelkedammen er en gammel norsk konstruksjon som har vært atskillig brukt ved fløtningsdammer. Dette er de enkleste bevegelige dammer vi har.

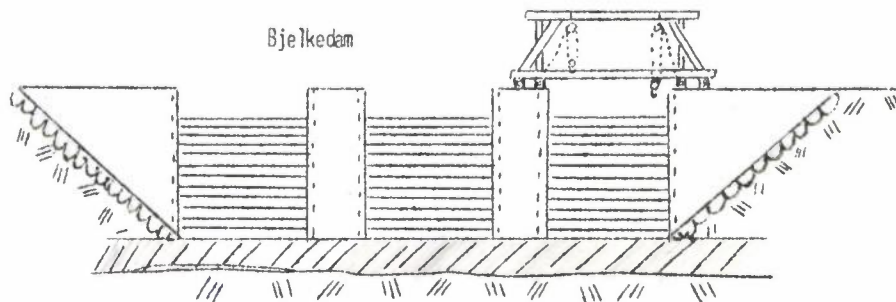


Fig. 52

De består av bjelker som legges løst over hverandre i falser, spor, i stein- eller betongpilarer. Er bjelkene små, og har lite vasstrykk, kan de trekkes opp med en tømmerhake eller lignende. Men er de store, må det som regel rigges til en talje eller et spill for oppheisingen. Bjelkene gjøres som

regel av firkanttømmer. Men er de lange og vasstrykket er stort, kan det være nødvendig å legge inn H jerns bjelker. Disse legges med "steget" i vasstrykkets retning. Ved hjelp av påskrudde treforinger på begge sider fås tetting mot nabobjelkene.

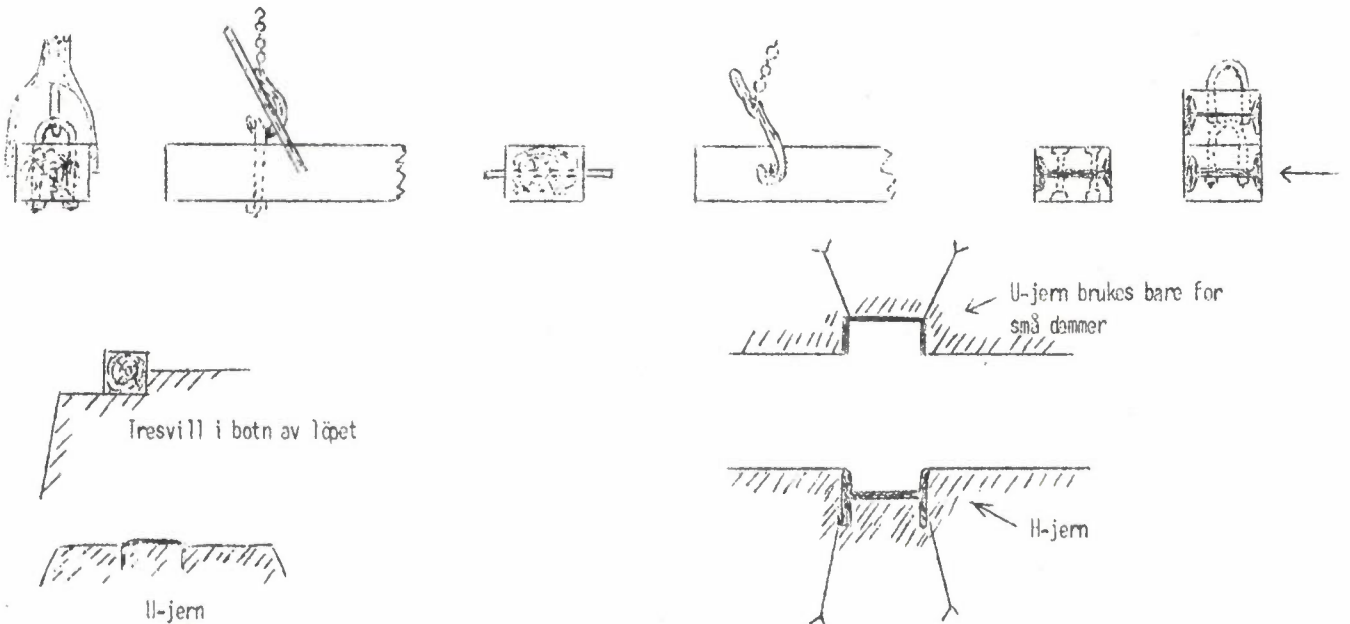


Fig. 53

Ved vassbyggingsarbeider settes bøyningsspenningen i jernet til  $800 \text{ kg/cm}^2$ . For disse trebjelkene bør ikke regnes med høyere spenning enn  $80 \text{ kg/cm}^2$ . Figurene viser hvordan bjelkeendene kan utstyres for heisingen. Bjelkene må heises like raskt i begge ender. I botnen av løpet legges en tresvill, om det er liten slitasje og den er lett å skifte ut. Ellers kan en støpe inn et u-jern med flensene ned. Stein og lignende ruller da lettere over.

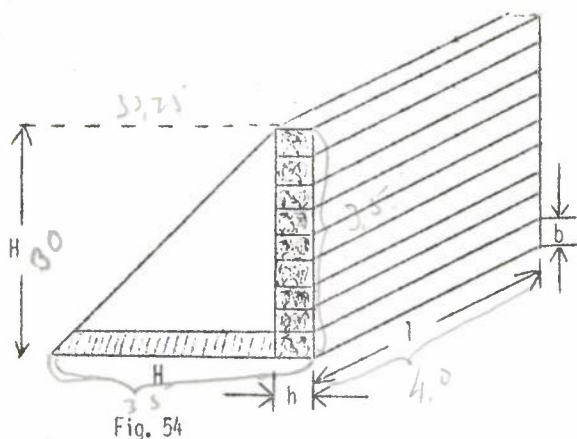
Som fôringer for bjelkene kan brukes U eller H jern, men U-jern er mindre heldige. Til murverk må de festes godt med ankere i 0,5 - 1 m avstand.

Ved mindre løp kan bjelkene gli på en trepute. Bjelkestengsler er sene å manøvrere. De brukes mest i løp som sjelden skal reguleres.

### 1.1. Beregning av bjelkene.

Til tross for at vasstrykket tiltar med djupet, vil en av praktiske hensyn bruke bjelker av samme dimensjon. Denne bestemmes da av anstrengelsen i den djupest liggende bjelke. Trykkdiagrammet tegnes opp i bestemt målestokk og belastningsflaten for nederste bjelke måles eller beregnes.





Momentet beregnes av  $M = \frac{pl^2}{8}$

p = belastningen pr. m bjelke.

Videre:  $M = \sigma \cdot W$ , hvor

$W = \frac{bh^2}{6}$

Eks.: Beregn bjelkene i en dam hvor største oppdemningshøyde over flomløpet er 3,5 m og bjelkelengden er 4 m. Bruker trebjelker. Vi antar å bruke bjelker med bredden b cm. Av trykkdiagrammet finner vi at belastningsflaten blir  $\frac{1}{2} (35 + 33,75) \cdot \frac{b}{10} = 3,45 b \text{ dm}^2$   
 $p = 3,45 \cdot b \cdot 10 = 34,5 b \text{ kg pr. l.m.}$

$$M = \frac{pl^2}{8} = \frac{34,5 b \cdot 4^2}{8} = 69 b \text{ kg. m} = 6900 b \text{ kg.cm.}$$

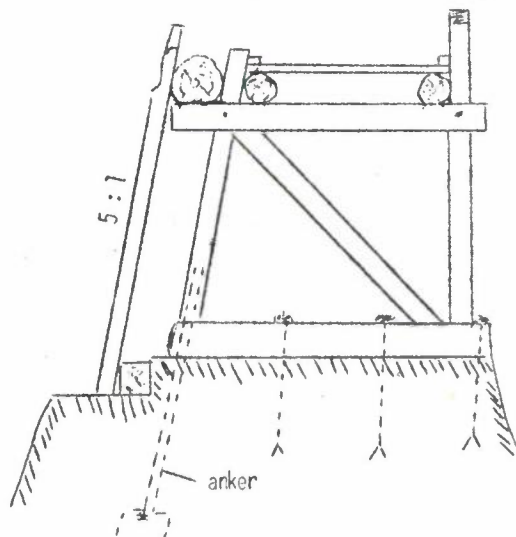
$$M = \sigma \cdot W$$

$$6900 b = 80 \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$h = \sqrt{517,5} = 22,75 \text{ cm} \quad \text{o: } 9'' \text{ i vasstrykkets retning.}$$

## 2. Nåledammer.

Avstengningen skjer ved nåler. Dette er som oftest firkantboks, 4" x 4". De stilles vertikalt, side ved side, nederst støttet mot en



botnsvill, terskel, oventil mot en horisontal bjelke. Har løpet stor bredde, deles det opp ved at en setter på bukker av tre eller stål, eller pillarer. Over bukkene legges en gangbru, gjerne med rekkverk. Nålene kan så manøvreres fra brua. De gis ofte en stigning 5: 1. Står de vertikalt, vil de lett stupe framover ved tom dam. Ved nåledammer er oppdemningshøyden begrenset. Skal nålene kunne manøvreres av én

Fig. 55

mann, kan en ikke ha større oppdemningshøyde enn 2,5 à 2,75 m. Nålene blir da en 4 m lange. Slike dammer gjøres derfor sjelden med større oppdemningshøyde.

For øvrig kan der også brukes maskiner til å ta opp nålene; men i alminnelighet brukes håndkraft. Det anføres (Heggstad) at en mann kan greie 40 m pr. dag.

Når nålene løftes opp og slipper taket i terskelen, må en passe på at de ikke tas med av strømmen. En kan lage hol i dem og stikke kjetting eller ståltråtaug gjennom, slik at de henger sammen. Det samme kan opp-

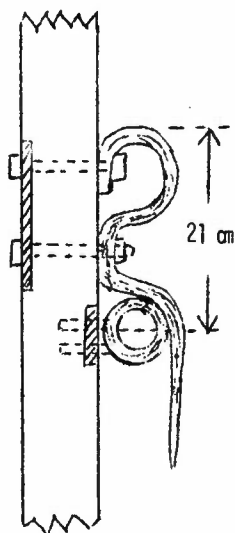


Fig. 56

nås ved en konstruksjon som fig. 56 viser. Puten som nålene støtter seg til, er et rør (80 mm ytre og 60 mm innv. diameter). Nåla er utstyrt med en hake. Denne er så lang at nåla blir hengende når den løftes opp og så svinges bakover av vatnet. Oppløftingen går også lettere og raskere når en bruker vektstang som stikkes inn i øyet over haken. Når nåla skal settes ned igjen, skyves den framover til haken stopper. Deretter vil strømmen svinge nåleenden ned og på plass.

Når det skal fløtes tømmer gjennom flomløpet, kan det være en fordel å få fjernet bukkene. Disse kan derfor konstrueres slik at de kan legges ned på damkronen, når nålene ikke benyttes. Samtidig må også gangbrua fjernes dersom den ikke er dimensjonert for fritt spenn.

En av de store mangler ved nåledammen er at den er vanskelig å få tett. For å få nålene drevet sammen brukes en nålekniv. Dette er en lang stang med et knivblad i den ene enden. Bladet stikkes inn i en

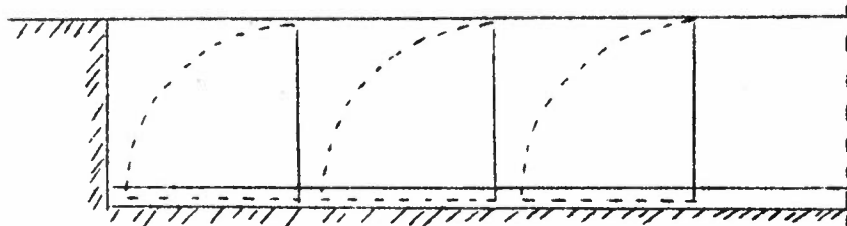
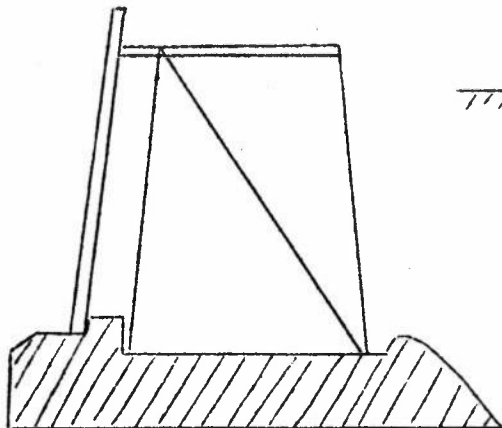


Fig. 57

spalte og nålene bendes så til siden. Når sprekken er stor nok, settes ei ny nål ned. En annen vanskelighet er isdannelse på nålene på grunn

av lekkasjevånet. Isen gjør manøvrering besværlig.

*WL = 50*

2.1. Beregning av nålene og bukkene.

Nålene blir anstrengt på bøyning, og ved beregning går en ut fra at vånet står jevnhøyt med gangbrua.

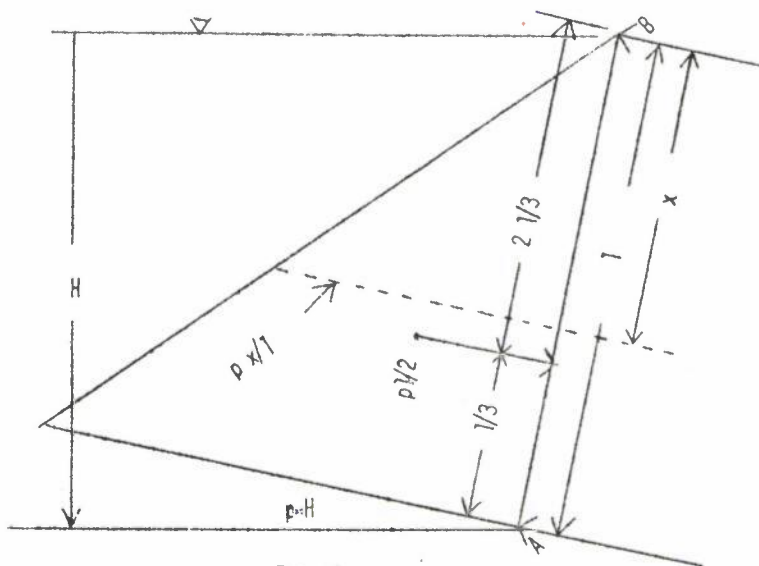


Fig. 58

Opplagertrykkene A og B.

$$1) M_A = 0 \text{ } \therefore B \cdot l - \frac{pl}{2} \cdot \frac{1}{3} = 0$$

$$\underline{B = \frac{pl}{6}}$$

$$2) M_B = 0 \text{ } \therefore A \cdot l + \frac{pl}{2} \cdot \frac{2}{3} l$$

$$= 0$$

$$\underline{A = \frac{pl}{3}}$$

$$\text{Momentet p\aa et vilk\aa rlig sted, } M_x = B \cdot x - p \frac{x}{1} \cdot \frac{x}{2} \cdot \frac{x}{3} = \underline{\underline{\frac{plx}{6} - \frac{px^3}{6 \cdot 1}}}}$$

For hvilken x-verdi har vi  $M_{\text{maks.}}$ ?

$$1) M_{\text{maks.}} \text{ n\aa r } Q \text{ (tverrkraften) } = 0$$

$$Q_x = B - \frac{px}{1} \frac{x}{2} = \frac{pl}{6} - \frac{px^2}{2 \cdot 1} = 0$$

$$x^2 = \frac{1^2}{3} \text{ og } x = \underline{\underline{\frac{1}{\sqrt{3}}}}$$

$$M_{\text{maks.}} = \frac{pl}{6} x - \frac{px^3}{6 \cdot 1} = \frac{pl}{6} \frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{pl^3}{6 \cdot 1 \cdot 3\sqrt{3}} = \frac{1}{9} \frac{pl^2}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{\frac{\sqrt{3}}{27} pl^2}}$$

$$2) M_{\text{maks.}} \text{ for } \frac{dM}{dx} = 0$$

$$\frac{dM}{dx} = \frac{pl}{6} - \frac{3px^2}{6 \cdot 1} = 0 \text{ } \therefore x^2 = \frac{1^2}{3} \text{ og } x = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ (som ovenfor)}$$

$$M_{\text{maks.}} = \frac{\sqrt{3}}{27} pl^2 = \frac{\sqrt{3}}{13,5} \cdot P \cdot l = 0,128 Pl \text{ hvor } P \text{ er hele vasstrykket}$$

mot nåla, og l er avstanden mellom terskel og øvre pute.

Eks.: Beregn nåledimensjonen når  $H = 2,5$  m og  $l = 2,7$  m,  $\sigma = 70$  kg/cm<sup>2</sup>

$$\text{Belastningsflatens areal} = \frac{25 \cdot 27}{2} = 338 \text{ dm}^2$$

Vi antar nålas bredde på vass-siden =  $b$  cm.

Da blir  $P = 33,8 b$  kg.

$$M = 0,128 P \cdot l = 0,128 \cdot 33,8 b \cdot 2,7 = 11,68 b \text{ kg} \cdot \text{m} = 1168 b \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M = \sigma \cdot W$$

$$1168 b = \frac{70 \cdot b \cdot h^2}{6}$$

$$h = \sqrt{\frac{1168 \cdot 6}{70}} = 10 \text{ cm}$$

Nålene må være 10 cm eller 4" i vasstrykkets retning. Den øvre bjelkeputa får som belastning opplagertrykket  $B = \frac{pl}{6} = \frac{25 \cdot 27}{6} = \frac{338}{3} = 113$  kg for hver desimeter bjelke.

Det blir  $113 \cdot 10 = 1130$  kg. pr l.m., og bjelken beregnes som fritt opplagt:  $M = \frac{pl^2}{8}$  hvor  $l$  er avstanden fra midt til midt på bukkene.

Antar vi denne avstanden lik 4 m blir

$$M = \frac{pl^2}{8} = \frac{1130 \cdot 4^2}{8} = 2260 \text{ kg m} = 226000 \text{ kg cm}.$$

Regnes  $\sigma = 80$  kg/cm<sup>2</sup>

$$W = \frac{M}{\sigma} = \frac{226000}{80} = 2825 \text{ cm}^3$$

o: Rundt virke  $d = 30$ - $31$  cm (midtmål)

Ved denne beregningsmåten har en egentlig forutsatt at bøyningen skjer i kraftens retning, at en av tverrsnittets hovedtreghetsakser faller i kraftplanet. Når en bruker rundt virke, som teoretisk ikke har noen utpreget hovedtreghetsakse i tverrsnittet, skulle betingelsen for så vidt være oppfylt. Men når puta også må bære tyngde av og belastning på brua, får en her et moment som vrir om tverrsnittets horisontale akse, d.v.s. gir nedbøyning i vertikal retning. En bør da undersøke størrelsen av momentet som vrir om tverrsnittets hovedtreghetsakser, når en bruker pute med rektangulært eller kvadratisk tverrsnitt. Denne slags bøyning kalles dobbelt bøyning, eller også usymmetrisk bøyning.

$$\text{Ved foregående beregning var } M = \frac{pl^2}{8} = \frac{1130 \cdot 4^2}{8} = 2260 \text{ kg m}.$$

Når nålene står med helling 5: 1, blir vinkel  $\alpha$  (fig. 59 a) =  $78,7^\circ$  ( $\text{tg } \alpha = 5$ )

Momentets horisontale komponent  $M_h = M \sin \alpha = 2260 \cdot \sin 78,7 = 2216$  kg. m.



Den vertikale komponent  $M_{v,o} = M \cos \alpha = 2260 \cos 78,7 = 442,8 \text{ kg m.}$

Når en videre forutsetter at brua er 80 cm bred med vekt og belastning =  $250 \text{ kg/m}^2$ , blir det 200 kg pr. l.m. bru og 100 kg pr. l.m. pute.

Tilsvarende moment,  $M_{v,1} = \frac{pl^2}{8} = \frac{100 \cdot 4^2}{8} = 200 \text{ kg m.}$

$\Sigma M_v = M_{v,o} + M_{v,1} = 442,8 + 200 = 642,8 \text{ kg m.}$

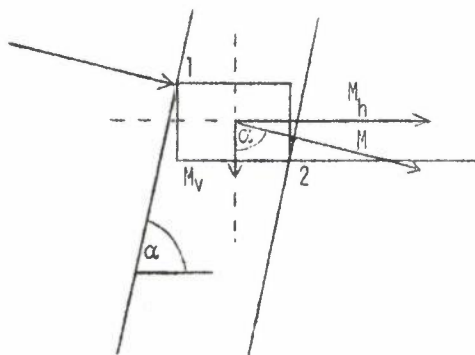


Fig. 59 b

Den største påkjenning får en her i hjørnene 1 og 2, henholdsvis største trykk og strekk

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{M_h}{W_{\text{maks.}}} + \frac{M_v}{W_{\text{min.}}}$$

Prøver 10" x 11"

$$W_{\text{maks.}} = 3130 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{min.}} = 2860 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{221600}{3130} + \frac{64280}{2860} = 71 + 22 = 93 \text{ kg/cm}^2$$

Dette blir altså for stor påkjenning,  $\sigma_{\text{maks.}}$  skal være  $80 \text{ kg/cm}^2$ . En må da prøve med flere dimensjoner.

Større bjelketverrsnitt kan en få ved å bolte sammen f.eks. 2 stk. 7" x 7". Forbindelsen må sikres ved tømmerforbindere. Motstandsmomentet beregnes av formelen  $W = \frac{b h^2}{6}$ , men reduseres i dette tilfelle med ca. 25 %.

Om vi prøver med den tidligere valgte dimensjon på rundt virke,

$d = 31 \text{ cm}$  og  $W = 2925 \text{ cm}^3 \left( \frac{\pi d^3}{32} \right)$ , blir resultatet følgende:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{M_h}{W} + \frac{M_v}{W} = \frac{221600}{2925} + \frac{64280}{2925} = 75,7 + 22,0 = 97,7 \text{ kg/cm}^2$$

Bukkene får i øvre hjørne et trykk som er lik opplagerkraften fra to av disse bjelkene. Når avstanden mellom bukkene er 4 m, blir trykket  $1130 \cdot 4 = 4520 \text{ kg}$ . Denne kraften dekomponeres i en strekk-kraft i stenderen a og en trykk-kraft i streveren b.

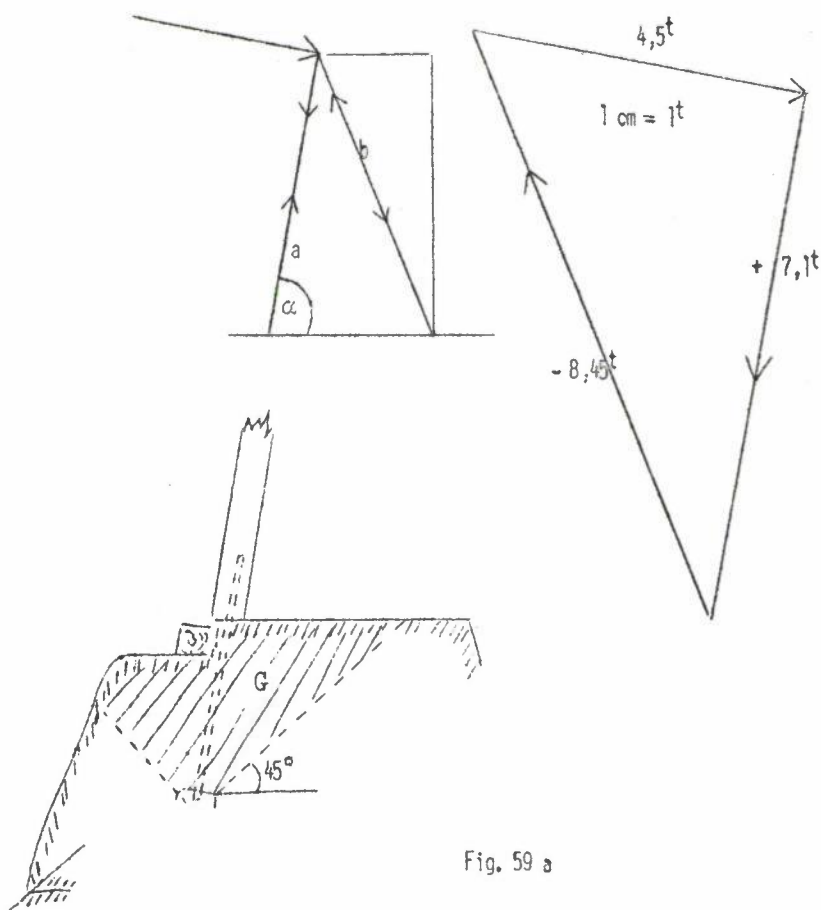


Fig. 59 a

Streveren b dimensjoneres mot knekking, f.eks. etter formlene

$$I_{\min} = 100 p^t l^2 m$$

Er  $b = 2,65$  m, blir

$$I_{\min} = 100 \cdot 8,45 \cdot 2,65^2 = 5950 \text{ cm}^4$$

7" x 7" er rikelig - eller rundt tømmer,  $d = 19$  cm.

Nødvendig tverrsnitt for a til å ta strekket, når en regner  $\sigma_{\text{str}} = 90 \text{ kg/cm}^2$ ,

$$\text{blir } \frac{7100}{90} = 80 \text{ cm}^2$$

4" x 4" er tilstrekkelig. Strekk-kraften må for øvrig opptas av forankring. Denne forankring må gis tilstrekkelig tverrsnitt - likeså boltene ved festet i trestolpen. Forankringa føres helst ned i fast fjell, splintbolt. Er ikke dette mulig, regner en at kjeglen G's tyngde må oppta strekket, og sikkerheten bør minst være 2, altså  $G \geq 2 P$ , hvor  $P =$  strekket i a.

Nåledammene er kostbare å manøvrere; arbeidet er også tungt ved store høyder. Nåledammen er i dag derfor for en stor del avløst av bevegelige dammer som manøvreres maskinelt.

### 3. Lukedammer.

Her stenges løpet med tavler eller plater, d.v.s. luker som går i spor, føringer, på samme vis som bjelkene. Lukeføringene kan sitte i sidene på pilarer, faste eller bevegelige bukker eller i stendere.

Bukkene blir å dimensjonere på samme måte som ved nåledam. De må oppta vasstrykk og vekten av manøvreringsbroen med eventuell belastning. Som

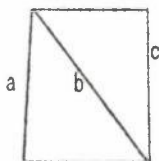


Fig. 60

belastning kan en regne  $250 \text{ kg/m}^2$ , dersom det ikke er spesiell trafikk som skal gå der. Halvparten av bruvekten bæres av bakre stender c. Det øvrige går i stenderen a. Dette vil redusere strekket her tilsvarende. De samme forhold gjelder også for nåledam.

Stenderne støtter seg nederst mot terskelen og øverst mot brua. Denne må derfor dimensjoneres etter det. En kan f.eks. legge så mange og så kraftige tømmerstokker ved siden av hverandre at det blir tilstrekkelig stivhet. Stokkene må da boltes sammen. For å

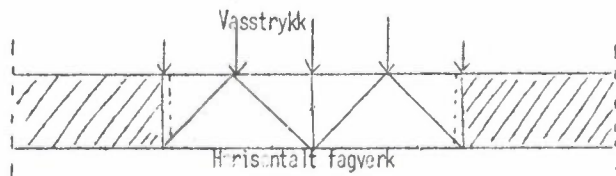


Fig. 61

spare på treverk, kan denne del av brua utføres som horisontalt fagverk. Vasstrykket regnes å angripe i knutepunktene, og kreftene i de forskjellige staver finnes grafisk.

Som nevnt under nåledammer, kan bukkene konstrueres slik at de kan svinges om og legges ned i flomløpet, f.eks. under tømmerfløting. Brua kan da enten tas vekk eller den kan bli liggende som frittstående bru. Når en har lukedam med lukeføringene i stendere, så kan disse stendere også gjøres løsbare eller svingbare. De kan da enten trekkes opp eller svinges til side. Men i dette tilfelle må brua konstrueres som frittstående. Dette kan gjøres ved at en bygger vertikalt fagverk, helst på oversiden, og på begge sider. Dette vil da samtidig tjene som rekkverk.

For øvrig kan nevnes at i tilfelle fløting og bukkene ikke kan legges ned, bør en kle inn sidene med bord i vassspeilshøyden. Dette for

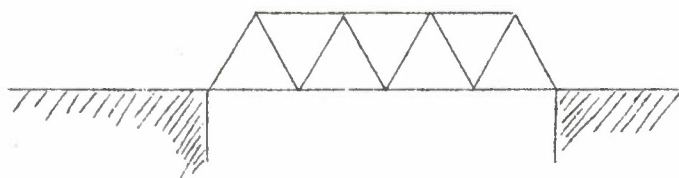
















Fig. 62

å hindre at tømmerstokkene kommer inn mellom benene og bryter dem i stykker.

Når en konstruerer og bygger fagverk, som nevnt, må en sørge for sikker kraftoverføring i knute-

punktene. Dette gjelder selvsagt også for bukkene. Ved konstruksjoner av stål lages knutepunktene f.eks. ved hjelp av knuteplater og nagler. Ved treforbindelser brukes forsatser, haker og skrubbolter, helst med tømmerlås både for strekk- og trykkoverføring. Tømmerlåstyper som Bulldog og Alligator er vel skikket til bruk i bukkeforbindelser. De bør helst være galvaniserte. Boltdimensjon og kraftoverføring pr. lås fremgår av følgende oversikt:

Boltdiameter i tømmer	Nr.	Alligator				Bulldog	
		Diameter tannhøyde	Maks. prøve- last kg	Kortvarig last kg	Tillatt last kg	Dimensjon i " (form)	Tillatt last i kg
3/8"						2" 3" 	200 500
1/2"	0	2 1/8, 1	3080	850	750	{ 3,0"  3 3/4"  4" 	700 900 1300
5/8"	1	3, 1	4350	1200	1100	{ 3"  3 3/4"  4" 	800 1000 1500
3/4"	2	3 3/4, 1	6400	1800	1600	{ 3 3/4" 	1200
	3	4 1/2, 1	7000	2000	1800	{ 4" 	1700
	5	4 1/2, 1 1/4	9300	2600	2300	{ 5" 	2300
7/8"	4	5 1/2, 1	10300	2900	2600	5" 	2500
	6	5 1/2, 1 1/4	11900	3200	2900	5" 	3000
1"	7	6 1/4, 1 1/4	12500	3500	3200	5" 	3500
5/4"						5" 	3500

Ved større dammer lages selve lukene av stålplater i ramme av profilstål samt avstivet med horisontalt profilstål. Men ved mindre dammer brukes treluker, av bord, planker eller bjelker etter vasstrykk og åpningens bredde.

Trelukene holdes sammen ved hjelp av gjennomgående bolter, ved rammekonstruksjon eller ved labanker. Men her må sørges for at eventuelt



jern ikke stikker fram om luken blir slitt.

Til manøvrering av luken brukes spill i forbindelse med tannstenger festet til luken, vågarmer eller bommer. Lukene må kunne både løftes og senkes under fullt vasstrykk.

For løfting trengs kraften  $K = V \cdot f + G$

For senking " "  $K = V \cdot l + G$

$V$  = vasstrykket,  $G$  = vekten,  $f$  = friksjonskoeffisienten.

Når luken er helt dykket, trengs en ekstra kraft for å bevege den oppover, idet en må løfte vass-søylen rett over den.

Eks.: En damluke veier 300 kg og er 1,2 m bred. I stengt stilling rekker den 2 m under vatnets flate. Den beveges vertikalt. Friksjonskoeffisienten 0,5. Hvor stor kraft trengs for å heise den opp fra

a) stengt stilling

b) stilling, når den allerede er løftet 1 m.

a) Vasstrykket =  $12 \cdot 20 \cdot 10 = 2400$  kg

$K = 2400 \cdot 0,5 + 300 = 1500$  kg

b) Vasstrykket =  $12 \cdot 10 \cdot 5 = 600$  kg.

$K = 600 \cdot 0,5 + 300 = 300 + 300 = 600$  kg.

Etter Hegstad angis følgende friksjonskoeffisienter:

Tre på stein 0,5

" " tre 0,4

" " jern 0,35

Jern " " 0,35

" " bronse 0,30

Bronse " 0,30

Av hensyn til rusting, kvister o.l. bør det kunne utvikles 100 - 150 % større kraft.

Opptrekkskraften kan minskes ved foringer på glidebanen. Lukene kan også deles etter høyden. Det brukes da ofte særskilte foringer for hver luke. Men der kan også brukes bare ett sett førings Skinner.

Nederst støter luken til en terskel, som ved bjelkedammer. Er luken helt dykket må en også sørge for tetning mellom luken og åpningens overkant. Dette kan gjøres som vist på fig. 63, med to skråhugne stokker, en på dammen og en på luken.

Foruten disse glideluker har en rulleluker hvor valser eller hjul gir rullende friksjon mellom luke og føring.

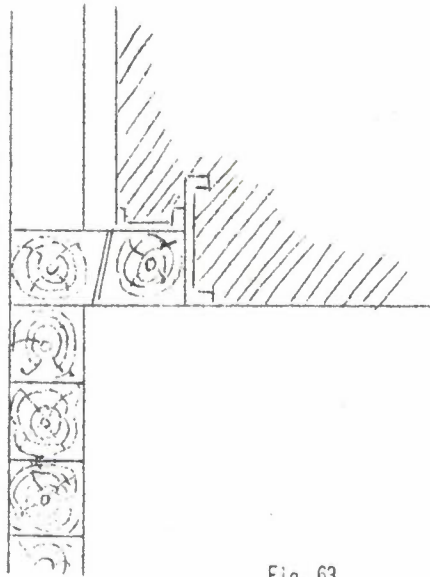


Fig. 63

4. For oversiktens skyld nevner vi også valsedam og sektordam.

Valsedammen består av en sylindrisk stålkonstruksjon som ruller på en tannkrans på hver side av flomløpet. I flomløpets sidevegger er det skråttliggende utsparinger som støtte for sylindrenes ender.

Dammen manøvreres ved hjelp av kjetting eller ståltrådtau som er festet til og rullet rundt den ene valseenden. Når valsen rulles opp, vil en større eller mindre vassmengde passere under den. Vass-speilet kan reguleres meget nøyaktig med valsedam; men den egner seg ikke til avstengning av tømmerløp. Valsene må i såfall trekkes helt opp så en får et unødige stort vassforbruk.

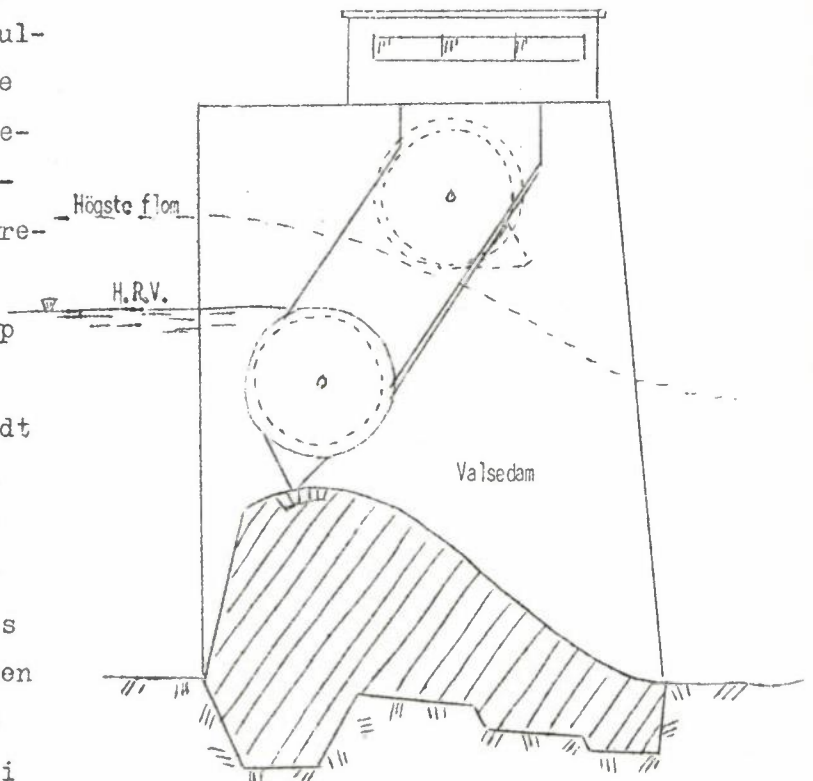


Fig. 64

Sektordammen består av en sylindarsektor med sylinderflaten mot vass-siden. Den er opplagret gjennom lagret i sylinderaksen direkte på dammen. Den manøvreres ved å senkes ned i overfallsdammen. Ved å pumpe eller lede vatn inn i mellomrommet under sektoren heves den og ved å tømme mellomrommet senkes sektoren.

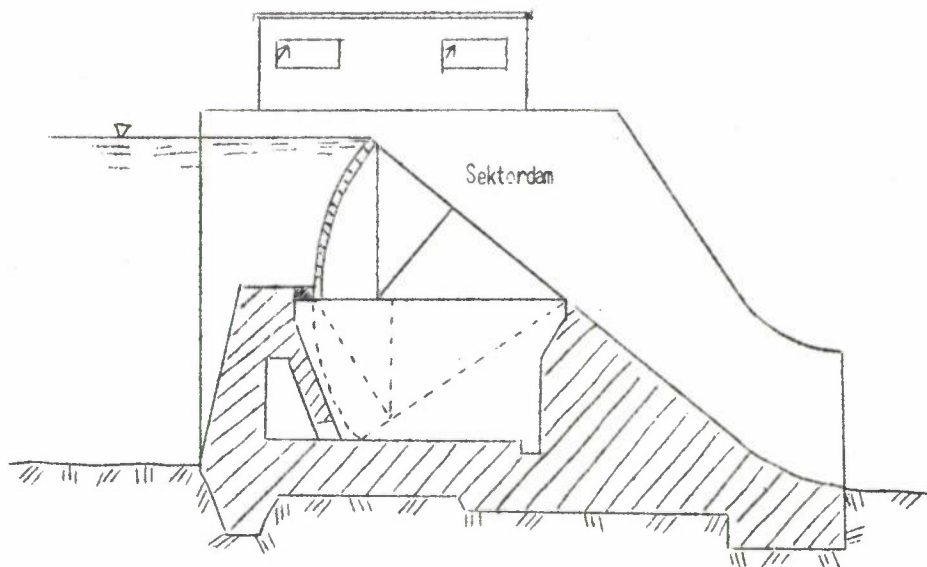


Fig. 65

Også denne dammen tillater en nøyaktig regulering av vassstanden. Den egner seg ypperlig til bruk i tømmerløp.

Både valser og sektorer er meget brukt i Norge. Ved Rånåsfossen har en to åpninger med sektorluker, hver på 50 m. Fallet er her ca. 12 m og tømmeret går uten vansker over sektorlukene. Dessuten er det en valseluke, 45 m bred, 6,5 m oppdemningshøyde.

ELVEREGULERING



## I n n h o l d

	Side
I. Innledning .....	1
II. Forberedende arbeider .....	2
III. Reguleringsarbeider og materialer .....	4
IV. Regulering av fjellbekker .....	7
V. Regulering av mindre elver .....	10
1. Sikring av elvebreddene .....	10
2. Innskrenking eller utvidelse av bredden på elva. Utretting av svinger .....	11
3. Gjennomstikk .....	12
4. Utmunning av tverrelver .....	12
5. Gjenfylling av sidefar, kolmasjoner .....	13
6. Vern mot oversvømmelse .....	13
VI. Regulering av flötingselver .....	15
A. Regulering av vassføringa .....	15
B. Regulering av elvefarete .....	16

## Elvereregulering.

### I. Innledning.

Ved elvereregulering forstås en i alminnelighet arbeidet med å sikre bekke- og elvefar for å minske uheldig graving i botn og sider. Skadelige oversvømmelser vil en også søke å hindre.

Men i et skogsdistrikt f.eks. kan hovedformålet med den slags arbeider være å gjøre et vassdrag mer skikket for tømmerfløting.

De arbeider som det kan bli nødvendig å utføre, blir tildels noe forskjellige i bekker (fjellbekker) og i mindre og større elver.

Fjellbekkene har gjerne stort fall og ei sterkt varierende vassføring. Det store fallet gir stor vasshastighet og dermed stor gravende og transporterende evne. Både fint og grovt materiale føres med. Småelvene, tverrelvene, kan også ha stort fall. Vassføringa er variabel; men de blir aldri tørre, slik som tilfelle kan være med fjellbekkene. De større elvene har gjennomgående lite fall og stor vassføring. Vassføringa kan nok være variabel, men variasjonene er som regel ikke så plutselige som i småelvene. Det er mest bare fint materiale som føres med i de større elvene.

Alt slags materiale forekommer således i vassdragene; fra det groveste som blokker og stor stein i fjellbekker og mindre elver til det fineste som sand og slam ved utløpet i havet.

Det grove materialet føres nedover langs botnen. Det trongs da ei viss "slepekraft" til å flytte materialet. Er denno kraften for liten, blir materialet liggende igjen.

Slepekraften eller angrepet pr.  $m^2$  av botnen kan uttrykkes ved ligninga  $S = 1000 \cdot t \cdot I$  kg

$t$  = vassdjupet i m

$I$  = fallet på elva, overflaten, i mm/m (‰)

Motstanden mot bevegelse er avhengig av materialets form, spesifikke vekt og av hvordan det ligger. En får graving når slepekraften blir for stor i forhold til sidenes eller botnens motstandsevne. Grastorv kan en kortere tid motstå ei slepekraft av 2-3 kg/m<sup>2</sup>. Sand kommer i bevegelse ved ei slepekraft av 0,2-1,0 kg/m<sup>2</sup>; singel ved 2-5 kg/m<sup>2</sup>.

Eventuelle undersøkelser må gjøres ved største flom.

I grunn som består av sand og grus, raser materialet ned etter hvert som vatnet graver.

I leirgrunn derimot raser større partier ut med en gang. Vatnet graver seg inn under leirmelene. Når overhøenget blir stort nok, faller det ned.

I skarpe svinger kan en få store utgravinger. Vatnet drives nemlig av sentrifugalkraften mot den konkave bredden, og kommer her til å gå i ei skruelinje med fart mot denne bredden i overflaten og mot den konvekse bredden ved botnen. Svingdannelse kan en få når elvefaret innsnevres ved avlagring på den ene siden. Elva vil da begynne å grave på den motsatte siden.

Svingene blir stadig skarpere, gravinga større og større. Til slutt kan elva skjære seg igjennom de smale halvøyene som dannes. Her blir det i tilfelle et sterkere fall, så den begynner å grave i botnen, skjærer seg ned. Denne nedskjeringa fortsetter oppover elva til den et eller annet sted stanses av fjell eller annen fast botn.

## II. Forberedende arbeider.

Skal en utarbeide et elvereguleringsprosjekt, bør en alltid ha reguleringa av en større del av eller hele vassdraget for øye. Regulering av en kortere elvestrekning har nemlig som regel innvirkning både på strekningen ovenfor og nedenfor. Det kan da lett hende at bedring av forholdene på ett sted kan gjøre dem verre på et annet sted, om en ikke tar det hele i betraktning. Ei lokal regulering kan det senere bli vanskelig å passe inn i ei fullstendig regulering.

For å kunne utarbeide et prosjekt for ei elveregulering, må en ha:

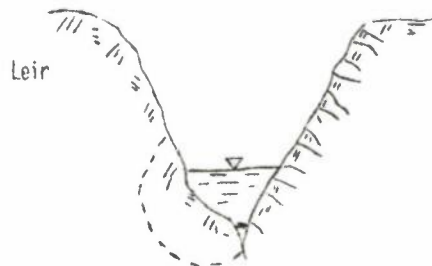


Fig. 1

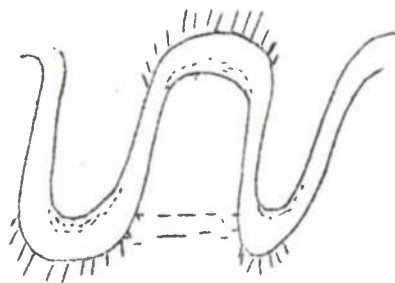


Fig. 2

1. De nødvendige kart over elvestrekningen som skal reguleres. Dette blir en situasjonsplan i mindre målestokk for det generelle arbeid og kart i større målestokk for detaljarbeidet.
2. Lengdeprofil av strekningen. På dette legger en inn høyden på elvebreddene, de ulike vasstander, anlegg av bruer, dammer, vegger osv. som en må ta hensyn til ved prosjekteringsarbeidet.
3. Tverrprofiler av elva eller bekken.
4. Grunnundersøkelser.
5. Vasstandsobservasjoner på passende steder i vassdraget - helst for så lang tid som mulig.
6. Vassføringsmålinger ved de ulike vasstander.
7. Oppgaver over materialtransporten.

Alle oppmålinger må henføres til sikre fastmerker som merkes av på kartet og selvsagt i terrenget. Fra disse kan en så senere, selv om det går flere år etterat oppmålingene er utført, føre punktene over fra kartet til marka.

Ved regulering må en forsøke å gi elva eller bekken et profil hvor der hverken kan bli graving eller avlagring. Dette ideelle profil kaller en normalprofilet.

De mest brukte profilformer, iallfall ved teoretiske beregninger, er trapesformene; det enkle og det dobbelte profil.

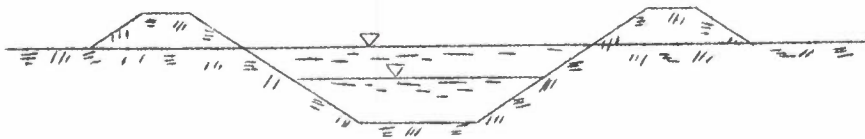


Fig. 3

Det enkle profilet brukes når det ikke er for store vasstandsvariasjoner. Ved sterkt vekslende vassføring vil en her få tilsvarende veksling i vassdjupet. Med økende vassdjup følger økende hastighet. Det er derfor lite sannsynlig at det enkelte profil blir stabilt under slike forhold. Dette enkle profilet vil for øvrig med tiden bli djupere etter midten og nærmer seg da parabelformen.

Ved sterkt vekslende vassføring velger en derfor heller et dobbelt profil hvor en får langt mindre variasjon i vassdjupet og hastigheten, fig. 4 og 5.



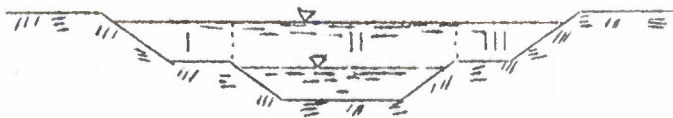


Fig. 4



Fig. 5

Det midtre partiet ved dette profilet er for lågvassføringa. Flomprofilet gis enten horisontal eller skrå avtrapping. Ved det dobbelte profilet blir hastigheten ved flom mindre enn ved enkelt profil på grunn av større friksjon. Den våte omkrets blir større i forhold til vasstverrprofilet.

Normalprofilet bestemmes etter foretatte målinger som utføres på noenlunde regelmessige elvestrekninger hvor profilet kan antas å være i likevekt. Her måles tverrsnittet, fallet og vassføringa. Etter dette bestemmes normalprofilet.

Ved beregninga kan en bruke den alminnelige formel for vasshastigheten,  $v = c \sqrt{R \cdot I}$ .

Når en her måler  $v$ ,  $R$  og  $I$ , kan en finne  $\lambda$  i Bazins nye formel;  $n$  eller  $m$  i Gauguillet og Kutters lange eller korte formel. Profilet må dimensjoneres slik at en får  $Q = F \cdot v$  med den  $v$  som materialet i botn og sider tillater.

Dobbeltprofiler deles opp i seksjoner ved beregninga. Beregninga må utføres for lågste vassføring, normalvassføring og for flom.

### III. Reguleringsarbeider og materialer.

Som før nevnt går arbeidene ut på å hindre at bekker og elver gjør skade ved utgravinger og oversvømmelser. Det kan da bli tale om:

1. Plantninger og lignende arbeid i den øverste delen av nedslagsdistriktet. Dette vil gjøre utgravningene mindre, og dermed også gi mindre materialtransport nedigjennom vassdraget.
2. Forsterkning av elvebredder, bekkeskrånninger og botn slik at de motstår vatnets gravende evne.
3. Minskning av materialtransporten ved å la materialet avlagre seg på steder hvor det ikke gjør skade, f.eks. i sjøer eller tjern.

4. Bortgraving eller bortmudring av öyrer, bortsprenging av stor stein og skjær, igjenfylling av kulper, så elva etter hvert får slikt profil at det hverken blir graving eller avlagring, normalprofil.

5. Bygning av flomdemninger.

Ved ei elveregulering vil det meste av arbeidet som regel bestå i forbygging av elvebrudd og opprensning av faret. Det kan også bli tale om å regulere bredda på faret, å rette svinger eller stenge sidefar, slik at en får samlet vatnet i ett far. I somme tilfelle, når elva går i sterke svinger, tas det også gjennomstikk gjennom öyrer og landtunger. Derved blir faret kortere og kan senere holdes vedlike med mindre kostnad.

Ved slike arbeider, som f.eks. gjennomstikk, bör en forsöke å la elva eller bekken utföre så mye som mulig av det selv. En setter bare arbeidet igang ved å grave en liten renne. Vatnet graver så videre og transporterer materialet vekk. Skal en fylle igjen sidefar, lar en elva före materialet inn. Dette sedimenterer når vatnet blir stillestående.

Ei elveregulering blir på denne måten et arbeid som utföres litt etter litt gjennom et lengre tidsrom. En kan da få se virkningen av et arbeid för det neste settes igang.

Det kan også bli tale om ved hjelp av reguleringsdammer å gjennomföre regulering av vassföringa. En tar toppen av de störste flommene ved at vatn holdes tilbake i et eller annet basseng, sjö eller tjern. Slike naturlige basseng forstörres ved å bygge dam ved utlöpet.

Videre må en huske på at ei elveforbygging må tåle påkjenning fra is, f.eks. isgang. Den må også utföres slik at den ikke kan bli årsak til isdammer. Selve elvefaret må reguleres slik at skaden ved isgang blir minst mulig. Av denne grunn vil en ha vintervassföringa, som er relativt lita, samlet i et djupt far. Går vatnet i flere grunne far, vil en lett få kjöv og oppdemninger med större eller mindre skade på eiendommen både ovenfor og nedenfor slike plasser.

Ved forbyggingsarbeider er stein det vanligste og varigste materiale. Men bruk av stein krever en viss stabilitet i grunnen. Der hvor grunnen er lös, eller steinen faller svært kostbar, kan en bruke faskiner av forskjellig type.

Steinen bör ikke være rund; men bare kantet, utsprengt, og med så stor sp. vekt som mulig. Det anbefales å la den utsprengte stein

ligge utsatt for været et års tid slik at den kan sprekke opp etter eventuelle svakhetslinjer før den plaseres i byggverket. Steinens størrelse må velges etter strömstyrken. Motstanden mot flytting må være større enn trykket av vatnet mot steinen. Dersom vi antar at steinen er kubisk med sidelengder = a, blir trykket på flata mot strömmen lik  $a^2 \gamma_v \frac{v^2}{2g}$

$$\text{Steinens motstand mot flytting} = f \cdot a^3 (\gamma_{st} \div \gamma_v)$$

f = friksjonskoeffisienten

$\gamma_{st}$  = sp. vekt for stein og  $\gamma_v$  = sp. vekt for vatn.

$$\text{Da må } f a^3 (\gamma_{st} - \gamma_v) > a^2 \gamma_v \frac{v^2}{2g}$$

*steinen > trykket på steinfl.*

$$\text{eller } a > \frac{v^2}{2gf(\gamma_{st} \div \gamma_v)} \quad (\text{idet } \gamma_v = 1)$$

Steinen må legges slik at strömmen får minst mulig tak på den. Avlang stein bör således legges med lengste siden i strömretningen. Videre bör ikke steinen stikke opp over botnen eller over sidenes plan.

I sterk ström bör det överste laget ordnes som ei steinplastring, dvs. ei jevn flate uten oppstikkende steinhjørner og kanter. Steinen i dette laget kan dessuten bindes sammen med stålhaker som ytterligere sikkerhet.

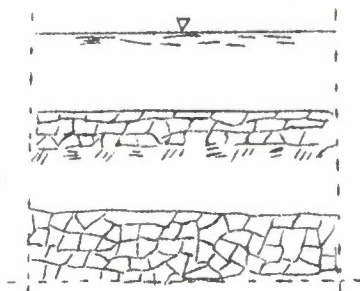


Fig. 6

Forat ei steinplastring ikke skal ödelegges ved undervasking, kan en legge faskiner under.

Faskiner er kvistbunter som er laget av ferske, böyelige kvister, grener, helst av pil og selje, 3-5 cm tykke. Kvisten ordnes, alle rotender til samme side og bindes sammen med galvanisert ståltråd.

Vanlige faskiner lages som regel ca. 4 m lange og ca. 0,4 m tykke. De surres med ståltråd i avstand 25-50 cm.

Båndfaskiner lages i lengder på over 20 m og med diameter opp til 20 cm. Tråдавstand 20-30 cm.

Senkfaskiner er faskiner med steinkjerne. Lengden opptil 6 m og diameter 0,6 -1,2 m. De surres med 2 mm galv. ståltråd i avstand ca. 30 cm. Kvistlaget danner her et hylster omkring steinkjernen. Disse faskinene rulles ut i vatnet fra elvebredden eller fra en båt.

Kontinuerlige faskiner er lange senkfaskiner, ofte flere hundre meter lange.

Pakkverk lages på stedet av vanlige faskiner, sand og stein. En legger først ut et tett lag vanlige faskiner, så et kryssende lag båndfaskiner med ca. 80 cm avstand mellom faskinene. Disse festes godt til det første faskinlaget med korte påler og ståltråd. Mellom båndfaskinene fylles så sand og stein. Dette stapes godt ned i faskinlaget under. En fortsetter så til pakkverket har tilstrekkelig tykkelse. Pakkverk kan legges under vatn på inntil 2 m djup. Faskinlaget legges ut fra elvebredden og senkes med sand og stein. Fallet bør ikke være større enn 1:2.

Senklag er flåter av båndfaskiner og vanlige faskiner, bundet sammen med 3 mm galv. ståltråd. Størrelse fra 6 x 6 m opptil ca. 20 x 20 m og tykkelsen 1-2 m.

Faskiner, senklag og pakkverk har vært atskillig brukt som underlag for sand- og steinfyllinger på dårlig grunn. Likeså som støtte for jordskrånninger som har lett for å gli, og som vern mot undervasking.

Faskiner er meget varige når de stadig ligger under vatn. Ulempen er at de ved pålasting kan bli trykt sammen opptil 50 %. En kan da få stort sig.

#### IV. Regulering av bekker (fjellbekker).

Det karakteristiske ved fjellbekkene er, som før nevnt, ofte stort fall og vekslende vassføring. Disse to faktorer gjør at det kan være vanskelig å få til et stabilt profil.

I et skogkledd område blir fjellbekkene ikke så strie som i skogbart område. Skogen, trerøttene, lyng, gras osv. holder på vatnet slik at avrenningen ikke går så fort. Først når vegetasjon og botnmaterialiet blir gjennomvått, får en raskere avrenning her. Dette blir da tilfelle ved langvarig regn. Kortvarig regn magasineres delvis.

Ved utgravninger kan mye jord bli ødelagt. De bør derfor stanses så fort som mulig ved forbygging. Men da trengs det også et godt tilsyn med bekkene. Særlig etter store flommer må en undersøke om de har forandret seg. Vi bør også huske at etter større skogsdrifter bør bekkene undersøkes og eventuelt renses for kvist og brask.

Utgravninger i fjellbekker kan hindres på forskjellig vis:



1. Ved skogplanting. Skråninger bør plantes til eller såos i. Rent foreløpig kan en holde jorda sammen ved hjelp av flettverk, påler og lignende, til plantene får godt rotfeste. Plantingene må tilsees ofte i den første tiden, slik at eventuelle skader fort kan bli reparert.

2. Bygging av dammer. Ovenfor dammene blir bekkefaret etter hvert fylt med sand og stein til i høyde med dammenes overkant. På denne måten minker fallet, hastigheten avtar og utgravingene hindres. En begynner å bygge dammene neden-



Fig. 7

fra og fortsetter oppover bekken. Hvor langt oppover virkningen av en dam går, avhenger av dammens høyde og fallet på bekken. Til å begynne med kan dammene lages ganske låge; men bygges høyere etter som bassenget ovenfor dem fylles opp.

Disse dammene kan bygges av tre (lite varige), tørrmur, mørtelmur eller betong. Hvelvtypen kan ofte være praktisk ved slike smådammer, særlig når den utføres som tørrmur.

Det er nødvendig at disse dammene fundamenteres sikkert og beskyttes mot undervasking. Ved løs grunn må en også ha styrtgolv eller en lager til mindre styrtbasseng av stein eller betong. Forat vatnet ikke skal gå omkring damsidene, må de føres tilstrekkelig langt inn i skråningene og likeså opp over høyeste vasstand. Det kan også bli nødvendig å bygge fløymurer ovenfor dammen. Disse må da gå over høyeste vasstand. Har en rikelig tilgang på lauvskog, kan en også bruke faskiner i slike dammer; enten senkfaskiner eller vanlige faskiner som lastes ned med stein. Styrtgolvet og fundamentet lages også av faskiner om grunnen er løs, fig. 8.

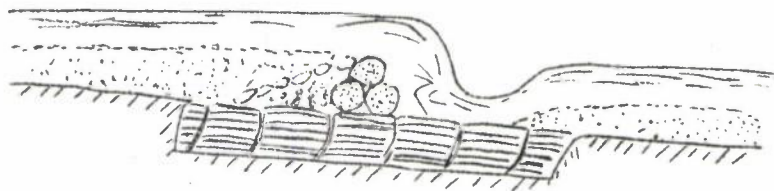


Fig. 8

3. Ved murer langs bekken, ført oppover høyeste vasstand, kan en hindre at det raser materiale ned i den. Slake skråninger kan steinkles.

4. Hele profilet kan også mures ut.

Tverrsnittet bør da være mest mulig konstant, og renna må helst bygges i rett linje. Iallfall må eventuelle kurver ha stor radius. Fallet bør være så jevnt som mulig. Likoså er det nødvendig at steinen er sterk mot slitasje.

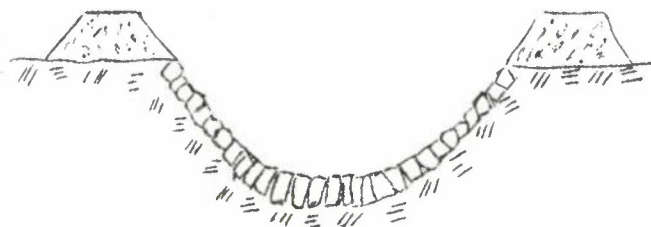


Fig. 9

5. For å hindre ødeleggelse bl.a. ved oversvømmelser i de nedre, flatere områder, bør en om mulig få anordnet avlagringsplasser hvor materialet kan avsette seg uten å gjøre skade, f.eks. i en sjø eller et tjern.

Videre kan det bli tale om å rette ut bekkefarene, der dette lar seg gjøre med rimelig arbeid. Er det sterke svinger, kan en ta gjennomstikk. I tilfelle det er flere far, må en

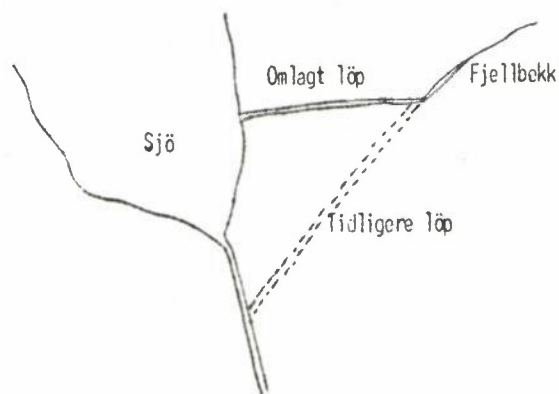


Fig. 10

søke å samle vatnet i ett far. Ellers kan en måtte forbygge sidene mot brudd, steinsetting, stenge bakevjer der vatnet graver, føre inn tverrbekker på laglig måte osv.

Foruten å regulere selve bekkefaret, bør en også søke å regulere vassføringa. Dette er lett når en har sjøer eller tjern i vassdraget. Som før nevnt, gir disse ei viss naturlig regulering. Denne kan en kunstig forstørre ved å bygge demning ved utløpet av sjø eller tjern. Men forutsetningen for et heldig resultat, er at en ved tapping regulerer vasstanden i dammen, slik at en har disponibelt rom i magasinet på den årstiden det normalt er stor nedbør eller avrenning (våren). I motsatt fall kan en risikere å få større flom og oversvømmelse enn før. Når magasinet på forhånd er fullt, blir en nemlig nødt til å slippe hele flommen forbi.

6. Videre kan det være nødvendig å beskytte hus, bruer osv. ved slike bekker - med beskyttelsesmurer. Ved bruåpninger må en påse at disse er

tilstrekkelig dimensjonert. Ellers kan en ved større vassføring få uheldig oppstuvning fra brua og oppover.

For övrig må en være oppmerksom på at avlagringsplasser og forbygging ellers i det nedre löpet ikke hjelper i langda, dersom en ikke utförer nödvendige forbygginger i samlingsområdet. Gjør en ikke dette, vil materialtransporten stadig öko. Forbyggingsarbeider i det nedre löpet vil da för eller senere bli utilstrekkelige og må gjöres om for å hindre f.eks. oversvömmelse.

#### V. Regulering av mindre elver.

I mange elver er forholdene slike at en ofte kan få store oversvömmelser. Spesielt er dette tilfelle i elver hvor det er få og små sjöer. Det blir da liten selvregulering.

Elveprofilet kan være for trangt somme steder, gjerne ved fosser. Elva kan også selv legge opp materiale, eller tverrelver förer materiale ned i hovedelva som da kan trenges over til den ene siden eller også demmes opp. I flatt lende med lite fall og svinget löp, blir det aktuelt med forbygging, gjennomstikk, oppfylling av sidelöp, flomdemming osv.

#### 1. Sikring av elvebreddene.

Som regel brukes steinfyllinger med ordnet skråning over lågvatn. För steinfyllinga legges ut, må elvemelen planeres av. Störrelsen på steinen må velges etter påkjenninga. I foten må en fylle ut godt med stor stein. Bruker en her for lite og for små stein, vil forbygningene lett kunne bli ödelagt.

Brukes steinplastring bör skråningene ikke være brattere

enn 1:1,5 til 1:1,75. Ved utföring som vist i fig., kan nok skråningene gjöres noe brattere.

Har en godt om tömmer, kan forbygningen gjöres som steinfylte tömmerkister. Men på grunn av vekslende fuktighet vil dette trevirket rätne fort. En foretrekker derfor å bruke stein mest mulig.

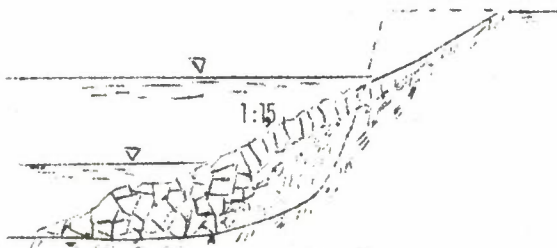


Fig. 11

Den enkleste beskyttelsen av en elvebredd er kledning med grastorv eller tilplanting med busker. Men dette kan en bruke bare ved liten strømhastighet og over middelvestanden.

## 2. Innskrenking eller utvidelse av bredden på elva.

### Utretting av svinger.

Større innskrenking av bredden fås ved hjelp av parallellverk.

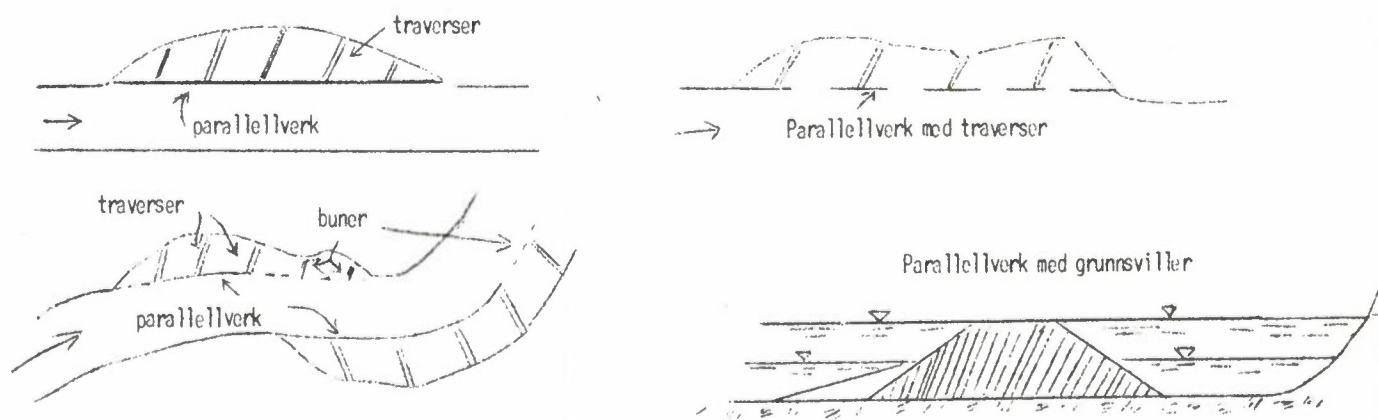


Fig. 12

Parallellverk utføres av grus og stein eller bare stein, med eller uten grunsviller. Kronebredden 1,5-4 m. Skråning på sida mot elvefaret 1:1,5 til 1:4 og på innsiden 1:1,25 til 1:1,5. Sterkt påkjente ytterflater må alltid steinkles. Fører elva mye materiale, kan partiet innenfor parallellverket fylles opp med det. Parallellverket bygges da ikke i full høyde med en gang; men slik at vatnet i flomtid kan flomme over og bli stående der. Det kan også gjøres åpninger i parallellverket. For å få roligere vatn bak parallellverket, kan der bygges traverser inn mot elvebredden. Når en på denne måten har fått høy nok oppfylling, bygges parallellverket opp over høyeste flomvasstand.

Går elva rolig, kan en også minke bredden ved hjelp av buner, fangbuner. Dette er demninger som bygges rett ut fra elvebredden. De bygges i full lengde med en gang; men høyden økes ettersom oppfyllinga går fram.

Utvidelse av bredden blir aktuelt hvor elva går ut fra en roligere strekning eller en sjø og gjennom ei trang fjellkløft. Ved



slike trange utløp får en oppdemming under flom og oversvømmelsen ovenfor. Men utvidelse av bredden her, kan gi større flom nedenfor enn før på grunn av mindre selvregulering. Arbeidet bør derfor fordeles over flere år, slik at en etter hvert får se virkningen av det og kan foreta eventuell forbygging.

Svinger kan i mindre elver rettes ut ved graving, bygging av parallellverk eller ved

### 3. Gjennomstikk.

For å få arbeidet i gang graves ei grøft midt etter der gjennomstikket skal tas, og vatnet ledes over her, fig. 13. Vatnet graver videre og fører jorda vekk. Til slutt går hele elva i dette nye faret. De nye breddene må om nødvendig kles med stein. Skulle elva begynne å grave utenfor profilet, må dette stoppes ved hjelp av stein som en alltid må ha liggende ferdig til utfylling.



Fig. 13

Istedenfor ei grøft etter midten, kan en ta ei grøft på hver side i gjennomstikket. De nye breddene gjøres da istand med en gang. Det gamle faret må etter hvert fylles med sand og stein eller bare stein, med eller uten faskiner. Skal flere gjennomstikk utføres etter hverandre, bør en begynne arbeidet nedenfra.

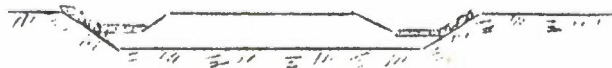


Fig. 14

Forutsetningen for at denne arbeidsmetoden kan brukes, er at materialet kan eroderes vekk, og at det ikke avlagres på uheldige plasser lengre nede i elva.

Materiale som vatnet ikke tar med, må graves eller mudres vekk. Fjell må sprenges ut. Helst bør da byggeplassen tørrlegges; men en kan også sprengre under vatn.

### 4. Utmunning av tverrelver.

Tverrelver med liten materialføring ledes inn i hovedelva slik at strømmen der forstyrres minst mulig (tangentialt).

Fører tverrelva mye materiale, må en ta hensyn til dette. Når elvene føres sammen tangentialt, får en her en utvidelse av løpet i hovedelva. Dette gir mindre strømhastighet og større risiko for avlagring, dvs. det omvendte av hva en må søke å oppnå. Når materialmassene blir større, trenger hovedelva også større støtkraft for å kunne føre dem videre. Tverrelva bør derfor ledes inn under større vinkel med hovedelva. Hovedelva forutsettes i dette tilfelle å ha større fall, og strømførstyrrelser vil da bety mindre. Botnen i tverrelva ved sammenløpet bør ligge noe høyere enn botnen i hovedelva.

### 5. Igjenfylling av sidefar; kolmasjoner.

Kolmasjon er oppfylling av lågtliggende land ved grumset vatn fra ei elv. Grumset, sand og slam, sedimenteres etter hvert, og vatnet føres så avklaret ut i elva.

Ligger området, som skal fylles opp, like ved elva, stenges det av mot elva med parallellverk.

Ellers kan vatnet ledes til og fra området i kanaler. Området deles gjerne opp med traverser.

På samme måten kan sidefar fylles igjen. Øverst stenges sidefaret, enten tvers over med lågt parallellverk eller delvis med ei samlebune, fig. 15. Over faret ellers bygger en traverser i passende avstander. En lar så en del av elva gå gjennom, og materialet avlagres mellom traversene.

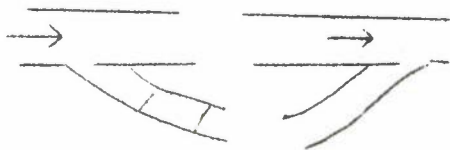


Fig. 15

### 6. Vern mot oversvømmelser.

Ved sjøer og langs elver i flatt landskap ligger ofte mye jord som vår og høst, og ellers ved langvarig regn, er utsatt for oversvømmelser. Denne jorden blir så unyttet, eller den blir i beste fall dårlig beitesmark. Men den kan trekkes inn i intensiv jordbruksdrift ved at oversvømmelsene hindres og jorden dyrkes.

Oversvømmelsene hindres enten ved senkings- og uttappingsarbeider eller ved å bygge demninger mot vatnet.

Ved senkingsarbeider kan det være at hele elvefaret må reguleres, omlegges, utvides, graves djupere og rettes. Eller en kan måtte grave ny, større kanal hvor det før går en liten bekk eller grøft fram til et tjern, som skal senkes. Et rent teknisk spørsmål blir det da å dimensjonere elva eller kanalen etter formålet.

Men før en går igang med senkings- eller uttappingsarbeider, må en ha ei mening om virkningen av arbeidet på vassdraget både ovenfor og nedenfor reguleringsstedet.

Når senkingsarbeider særlig utføres for å få fram nytt dyrkingsland, bør en på forhånd vite hvordan lendet blir når vatnet forsvinner. Videre bør en også på forhånd ha tatt prøver av botnen i sjø eller tjern for å konstatere om den f.eks. i kjemisk og biologisk henseende er skikket som voksested for kulturplantene.

Det er eksempel på at en ved sjösenking har fått fram bare storsteinet ur, og dette kan bare skjemme ut landskapet. Videre har en flere tilfeller av at sjöbotnen har inneholdt sterk plantegift som i mange år har utelukket all plantevekst (Sverige).

Demninger mot oversvømmelse utføres som jordvoller, av grus, sand og leire. De må gjøres så vasstette som mulig, og fundamenteres



Fig. 16

slik at vatnet ikke kan gå under dem. Det er atskillig brukt å legge inn en tetningskjerne av stiv leire. Materialet ellers må pakkes godt. Til dette kan brukes en stålbetongvalse, men en har også med godt resultat prøvd å kjøre fram og tilbake med beltetraktor. For å få større flomprofil og derved mindre vasshastighet, legger en gjerne disse jordvollene litt inn fra elvemelen. Dette blir sikrere demming. Den bør rekke 0,5-1,0 m over høyeste flom. Kronebredde med mindre demninger gjøres 1,5 m til 2,5 m, ved større 2,5-4,0 m. Skråningen mot vatnet gjøres 1:1,5 til 1:2 og må beskyttes mot strøm og bølgeslag med stein eller grastorv. Buskplanting kan også brukes.

Til oppsamling av lekkasjevatn eller regnvatn fra området omkring graves ofte grøft eller kanal like bak demningene. Vatnet i disse kan så gjennom stikkrenner i jordvollen ledes inn i elva

når vasstanden her er lågere enn i gröfta eller kanalen. Stikkrenna kan stenges med en klaff som virker automatisk. Når vatnet i elva stiger opp i stikkrenna, vil vasstrykket lukke klaffen igjen. Ved slik regulering kan en ved langvarig flom få oversvømmelse innenfor demningene. Denne metoden kan derfor være lite brukbar, når jorden skal dyrkes opp.

Dersom elva har større fall lengre nede, kan grøftene eller kanalene føres ut i elva her.

Ellers blir en nødt til å pumpe vatnet fra kanalene, over demningene og ut i elva.

I Sverige og Danmark er store dyrkningsarealer vunnet inn på denne måten (invalling).

Pumpene er nå som regel elektrisk drevne sentrifugal- eller turbinpumper. Pumpens kapasitet må beregnes etter størrelsen av det tilgrensende nedbørsområde, slik at en selv utenfor vegetasjonstiden ikke får oversvømmelse.

## VI. Regulering av flötingselver.

Skal en med fordel kunne flöte i et vassdrag, må en for det første ha nok vatn, dernest må faret være så rent at tømmeret ikke setter seg fast. Eventuelle mangler i så måte kan rettes ved ulike reguleringsarbeider.

Reguleringa kan utføres ved mer eller mindre permanente anlegg. Mindre varige anlegg blir som regel billigst å utføre; men det koster mer å holde dem i stand. En annen ulempe er at de har tendens til å være ubrukelige til de tider da de er mest nødvendige. Når det årlig flötes i vassdraget, er det som regel best å utføre anleggene så varige som mulig. Men hvor mye en skal koste på, vil selvsagt bero på tømmermengden og hvor fort tømmeret skal fram.

Reguleringa kan bestå i regulering av vassføringa, regulering av elvefaret eller begge deler.

### A. Regulering av vassføringa.

Dette foregår ved hjelp av slippedammer (flötingsdammer). Men slike reguleringer blir det bare tale om i mindre vassdrag. I større vassdrag blir disse anlegg alt for dyre, om de bare skal tjene formålet tømmerflöting. I slike vassdrag kan en dra nytte av eventuelle reguleringsdammer for kraftverk.



Konstruksjonen er slippedammene retter seg etter forholdene på byggeplassen og de krav som en måtte stille til dem.

Tidligere brukte en mye bukkedammer av tre og lafteverksdammer. En går nå mer og mer over til å bygge dem av stein eller betong. Avløpet reguleres som regel ved hjelp av bjelker, nåler eller luker.

## B. Regulering av elvefaret.

### 1. Sprengings- og opprenskingsarbeid.

Det lønner seg å sprengre ut og renske faret best mulig. Derved blir det mindre behov for andre arbeider, anlegg, som krever mer vedlikehold.

Dersom elva noe sted deler seg i flere far, bør en prøve å samle vatnet i ett løp. Er dette ikke gjørlig med rimelig kostnad, kan en legge ut styrelenser slik at tømmeret iallfall går i ett far. Ellers kan stokkene sette seg fast ved delingsspissen, så en får tömmervaser. Men tømmeret kan også sette seg fast fordi det blir for lite vatn i hovedfaret. Ved opprenskingsarbeider er det regelen at en gjør faret så rett som mulig. Dessuten bør det ikke gjøres bredere enn nødvendig. Det vil ellers bli for grunt ved mindre vassføring.

Dersom det er meninga at en i framtiden skal kunne flöte med mindre vatn enn för, bör alle sprengings- og gravingsarbeider utføres til et etter måten stort djup. Stein etter skyting bör bringes ut av grunne far eller planeres ut slik at det overalt blir djupt nok vatn.

### 2. Flak.

Oppsprukket fjell langs elvebreddene eller på botnen som ligger slik til at tømmeret stadig stöter mot det, kan bevirke at en får brekkasjer og vasedannelse. For å unngå dette legges det ofte tömmerflak over fjellet på slike plasser. Avglatting med betong går også an.

Tömmerflak legges også over klöfter, jettegryter, utover fosser og over djupe hol under fosser. Men de må legges slik at tömmerendene ikke stöter for sterkt mot dem. Ligger et flak nedover en bratt foss, bör den nedre delen gis slikt fall at tømmeret ikke får retning mot botnen. Denne delen blir derfor utsatt for stor slitasje.

Den kan gis et ekstra slitelag av tømmer eller også stålplate, og bør lett kunne skiftes ut, om den blir ødelagt.

I disse flak må boltene settes slik at de ikke stikker fram når treet blir slitt.

### 3. Skjerner, skådammer.

En bygger skjerner for å lede tømmeret i et bestemt far eller for å holde det borte fra vanskelige partier langs elvebredden eller i faret ellers.

Skjermene må bygges slik at en ikke får plutselige retningsendringer på strømmen. Strømmen må bøyes av litt etter litt. På denne måten blir ikke skjermene så sterkt påkjent av tømmer og is. Som regel bygges de så høye at flommen ikke går over dem.

Buskskjermene utføres av skiftende lag av granbusker eller store grankvister og litt større, helst utsprengt stein. Granbuskene legges med toppen i strömretningen. Disse skjermene brukes nå lite.

Bukkeskjermene, fig. 17, gjøres av trebukker som settes i passende avstand og klæs på framsiden med planker, halvkløvninger eller tømmer. Helling 1:1 eller brattere. De passer best på fjell og i mindre elver. De er ikke særlig varige.

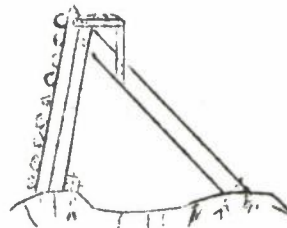


Fig. 17

Lafteskjermene utføres på samme måten som laftedammer. På framsiden bør det brukes sinklaft; på baksiden kan en bruke knubbelaft.

Steinskjerner passer godt på fjell og ellers hvor botnen er sterk. Disse skjermene bruker en helst nå. De utføres som regel av bruddstein uten bruk av mørtel. Kronebredden velges vanlig fra 1,0 til 2,5 m, og botnbredden bør ved fullt vasstrykk ikke være mindre enn 0,8 h. Kronesjiktet er som regel den svakeste delen av disse skjermene. På utsatte steder bør det derfor boltes og bindes godt sammen med stålhaker.

Skjermene kan også utføres av betong.

### 4. Löftedammer.

Disse hjelper til å heve vasstanden i ei elv og skaffe djupt nok vatn for flöting på strekninger der det ellers ville være vanskelig eller umulig å flöte. De kalles derfor også löftedammer. De har vært

brukt i mindre elver med lite fall og storsteinet botn.

Løftedammene kan lages av lafteverk, stein eller betong. På baksiden må formen være slik at tømmeret ikke setter seg fast i botnen nedenfor dammen. Det kan her bli nødvendig å bygge flak. Damkronen kan i lengderetningen av dammen gjøres med helling mot det stedet en vil ha tømmeret til å gå. Skal tømmeret gå midt etter faret, gjøres dammen lågest her og med stigning på kronen mot elvebreddene.

Damkronen utsettes for stor påkjenning og må gjøres sterk. Framkanten bør legges noe lågere enn bakkanten eller være godt avrundet forat tømmeret lett skal gli over dammen.

VASSDRAGSREGULERING



## I n n h o l d .

	Side
1. Innledning .....	1
2. Variasjon i vassføring .....	1
3. Selvregulering .....	2
4. Kunstige reguleringsbassenger .....	2
5. Direkte bestemmelse av vassføringa .....	3
6. Indirekte bestemmelse av vassføringa .....	4
7. Bestemmelse av vassføring ved bestemte magasininnhold .....	4
8. Vassføringskurve .....	9
9. Reguleringens virkning .....	9
10. Vasslippinga .....	10
11. Forskjellige betegnelser .....	11
12. Om tiltak i vassdrag .....	12

## 1. Innledning.

I Norge vil hovedformålet med regulering av vassdragene som oftest være å skaffe ei slik vassføring at en kan få nytt ut vasskraften på best mulig måte. Men formålet kan også være å hindre skadeflommer, å skaffe vatn til vassverk, til vatning i jordbruket, til tømmerfløting, til drift av kanaler, sluser og lignende.

## 2. Variasjon i vassføring.

Følgende diagram viser den årlige variasjon:

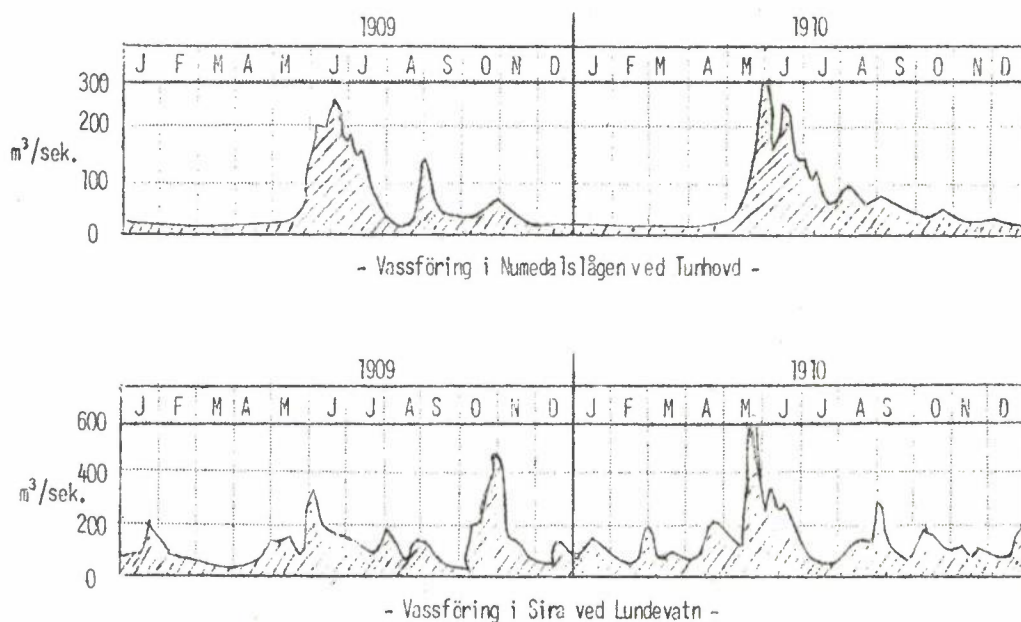


Fig. 1

Innlandsstrøkene: Den lågste vassføring har en som regel i mars; den høgste som oftest i mai-juni. Om våren har en som regel flom. Utover sommeren tar vassføringa av igjen; vokser en del om høsten på grunn av høstregnet, men minker så i november og desember etter hvert til den alminnelige vintervassføring. Denne er lita, da nedbøren oftest faller som snø.

Kyststrøkene: Her er avløpene pr. km<sup>2</sup> nedbørsområde i det hele større enn i innlandstraktene. Diagrammet viser at en også kan ha mindre vinterflommer.

Foruten slike årlige variasjoner i vassføringa, har en også periodiske: flere vassfattige år følger etter hverandre og deretter ei rekke med vassrike år.

### 3. Selvregulering.

Den årlige variasjon i vassføring er ikke like stor i alle elver under samme klima forhold.

Den minste forskjell mellom lågvatn og høgvatn har en i de elvene hvor det er større sjøer. Sjøene stiger under flom og magasinerer en del av nedbøren. Dette vatnet renner så ut litt etter litt når flommen er over. På naturlig måte holdes toppen av flommene tilbake i sjøen en tid.

Mjösa, flateinnhold ca.  $362,4 \text{ km}^2$ , har således stor selvregulerende evne. Under vårflommen i 1897 var tilløpet fra Gudbrandsdalen ca.  $2200 \text{ m}^3/\text{sek.}$ , mens det maksimale avløpet var bare ca.  $1250 \text{ m}^3/\text{sek.}$

Gaula (i Sør-Trøndelag) har få og små naturlige reguleringsbasseng. Flommen i august 1940 ble anslått til ca.  $2330 \text{ m}^3/\text{sek.}$  Minste vassføring er ca.  $5,4 \text{ m}^3/\text{sek.}$

### 4. Kunstige reguleringsbassenger.

Det lønner seg som regel ikke å bygge ut et vassfall bare for den naturlige lågvassføring. Uten regulering ville en nok bygge ut for en noe større vassføring, dog bare for en liten del av flomvassføringa. I tørre tider ville en da få for lite vatn til full drift, mens en til andre tider fikk overskuddsvatn som måtte slippes forbi. Det ville således bare bli en mindre del av vasskraften som ble nyttet. Skal en få nyttet vasskraften rasjonelt, må en ha magasiner hvor overskuddsvatnet holdes tilbake. Det slippes først når den naturlige vassføring, eller den vassføring som verket er bygget for, blir for lita.

Dersom magasinene er så store at en kan få nyttet ut nesten hele vassføringa i et vassdrag, sies reguleringa å være "ideell". En trenger da magasiner som kan romme ca. 60 % eller mer av den gjennomsnittlige årlige vassføring (flerårsregulering).

Magasinene fås ved heving eller senking av naturlige sjøer (eller både ved heving og senking). Kunstige bassenger kan ellers anlegges i flate, vide daler med trange utløp, helst i fjell.

For å kunne gjennomføre slike reguleringer, må en som regel ha konsesjon av staten. Bestemmelser om dette finnes i lov av 15. mars 1940, om vassdragene. Konsesjon gis som regel bare for begrenset tid. Små reguleringer er i visse tilfelle fritatt for konsesjon, særlig





Er vassføringskurve eller - tabell for et vassmerke bestemt, behöves ikke senere flere direkte målinger, forutsatt at elveprofilet ikke endrer seg. Det er ett eller flere vassmerker i de fleste større vassdrag i landet, og vasstandsobservasjonene offentliggjøres hvert år av vassdrags- og elektrisitetssvesenets hydrografiske avdeling.

Når vassmerket står i en sjö, får en ved målingene bestemt avløpet fra sjöen. Imidlertid er det tillöpet en har bruk for. Tillöpet blir da lik avløpet + det som eventuelt er magasinert i sjöen; eller ÷ det som vasstanden i sjöen har minnet. For å kunne beregne dette må en ha sjöens flateinnhold.

#### 6. Indirekte bestemmelse av vassføringa.

I tilfelle en ikke har målinger for å kunne beregne tillöpet i en sjö, kan en gå ut fra en sjö i tilgrensende distrikt, hvor tillöpet er kjent. En regner da at tillövene er proporsjonale med nedbørsområdenes størrelse. Men en må være oppmerksom på at dette beregningsgrunnlag er meget usikkert. Avløpet pr. km<sup>2</sup> nedslagsdistrikt kan være meget forskjellig i to distrikter, selv om de grenser mot hverandre.

Å beregne avløpet etter målingene ved nedbörstasjonene vil en bare kunne gjøre når det fins nedbörstasjoner rundt om i distriktet. For Haldensvassdraget og Akerselva kan dette gjøres. I Haldensvassdraget er den årlige nedbör i gjennomsnitt for 9 år målt til 685 mm. De avløpne mengder ifølge vassføringsmålingene i vassdraget svarer til 451 mm.

Forskjellen 234 mm skulle være det som vegetasjonen bruker, samt tap ved direkte fordunstning. Avløpskoeffisienten blir da ca. 65 %.

For Lærdalselva gir nedbörmålingene, som bare utføres i bebodde strök, et årlig avløp i gjennomsnitt ca. 564 mill. m<sup>3</sup>. Det virkelige avløp er målt til 1137 mill. m<sup>3</sup>. For Møsvatnet henholdsvis 620 og 1500 mill. m<sup>3</sup>.

Bruker en derfor nedbörobservasjonene som grunnlag for planlegging av reguleringstiltak, vil en i mange tilfelle komme til helt feilaktig resultat med hensyn til avløpet.

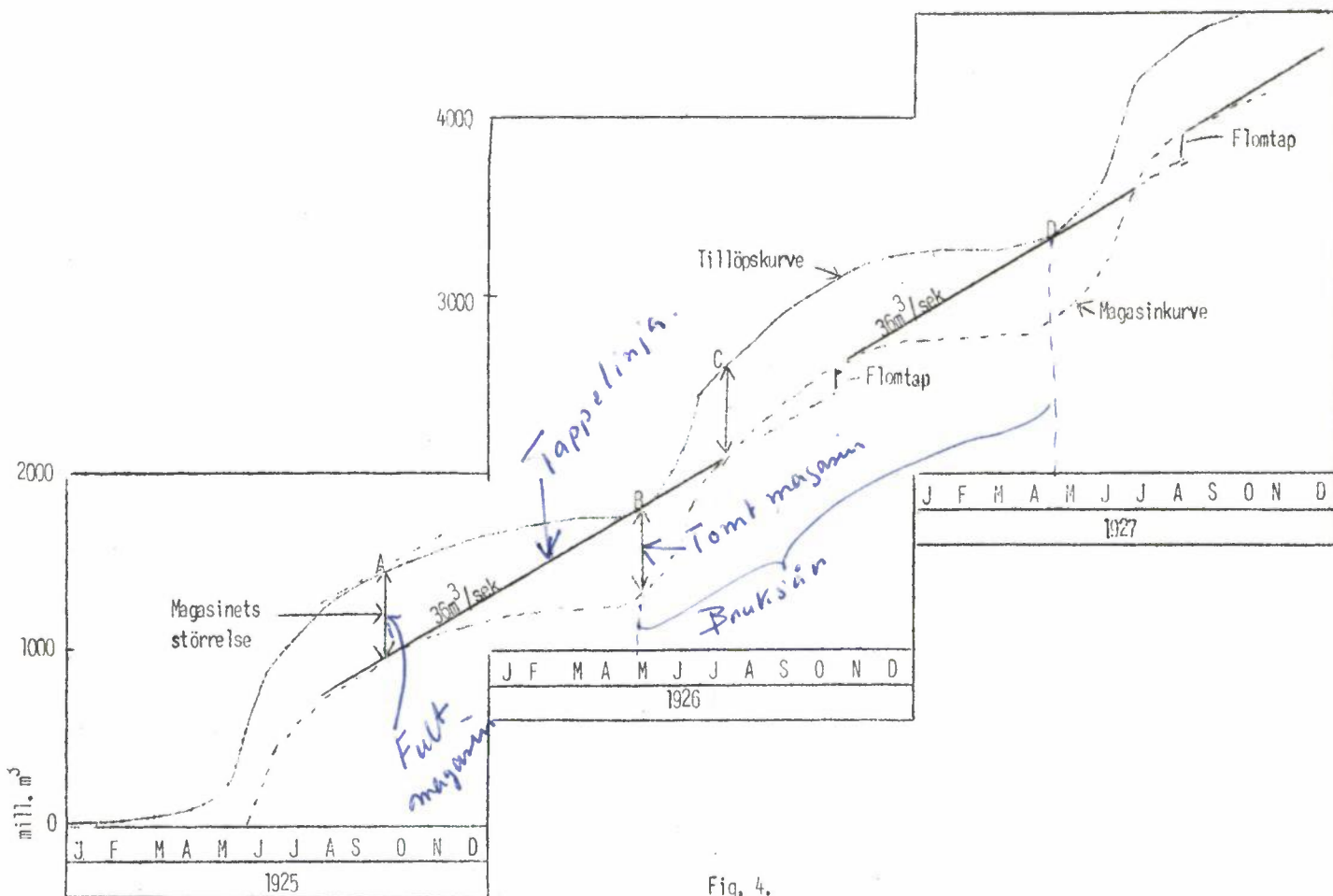
#### 7. Bestemmelse av vassføring ved bestemte magasininnhold, eller nødvendig magasin for å oppnå bestemt vassføring.

For å kunne beregne magasinene ved ulike reguleringshöyder, må en kjenne arealet av sjöen eller det terreng som demmes opp. Dette

arealet kan en ved hjelp av planimeter ta ut av kart med høgdekurver over området mellom reguleringsgrensene.

Skal en så bestemme regulert vassføring ved ulike magasin-størrelser, eller nødvendig magasin for å få ei bestemt vassføring, bruker en helst grafiske metoder.

Resultatet fra avløpsmålingene føres i en tabell. Av dette beregnes så tilløpet idet en tar hensyn til vasstandsvariasjoner i sjøen (forutsatt at vassmerket står i den). I en egen rubrikk, "sum, tilløp, adderes tilløpet fra første observasjonsdag og til siste dag i observasjonstidsrommet. Denne sumrekken framstilles grafisk og kalles summasjonskurve eller tilløpskurve, fig. 4. Tiden avsettes som abscisse og summene som ordinater, i bestemt målestokk.



Kurvens stigning på hvert sted angir tilløpet pr. sek. Er kurva flat, har en lite tillöp pr. sek, er den bratt, stort tillöp.

Vi ser at tillöpskurva for det meste dannes av krumme linjestykker, dvs. tilløpet varierer stadig. Avsnittet mellom to lågvassperioder, f.eks. B-D på fig. 4, kalles et "bruksår". Dersom en i denne perioden skulle ha jevnt avløp, måtte tappingskurva bli en rett linje mellom punktene B og D. Men da måtte en magasinere vatn fra flomtiden for å ha noe å spe på med når tilløpet blir mindre enn det jevne avløpet. I begynnelsen av perioden ser vi at tillöpskurva stiger sterkere enn avløpskurva dvs. det er større tillöp enn avløp. I slutten av perioden (bruksåret) er forholdet omvendt. Avstanden mellom tillöpskurva og den rette tappelinjen angir til en hver tid hvor mye vatn det er i magasinet. Den største avstanden angir således hvor stort magasinet må være i dette tilfelle.

Det er dog ikke tilstrekkelig å betrakte bare ett "bruksår" i en observasjonsserie. Det kan være atskillig variasjon mellom årene. For alle de år en har observasjoner, må en derfor undersøke hvor stor vassføring en sikkert får med en bestemt magasin størrelse.

En rett linje som tangerer de lågeste punktene på tillöpskurva, angir det avløpet som en ville få ved fullstendig eller "ideell" regulering. Det gir en idé om hvor mye vatn det gjennomsnittlig har kommet fra nedbørsområdet pr. sek. Den største avstanden mellom denne rette linjen og tillöpskurva, angir magasinets størrelse ved ideell regulering. Slik regulering blir det sjelden tale om.

Det gjelder i hvert enkelt tilfelle å finne hvor langt det er økonomisk forsvarlig å gå med magasin størrelsen. Utgiftene skriver seg fra dam, tappeanordninger, skadeserstatninger m.m. og inntektene kommer særlig av kraftvinning og mulige andre fordeler.

For å finne den økonomiske grense for ei regulering, må en prøve seg fram med forskjellige magasin størrelser. For hvert alternativ bestemmes regulert vassføring med tilhørende utgifter og inntekter.

Den største regulerte vassføring som en kan få ved en bestemt magasin størrelse, finnes på følgende måte:

Under tillöpskurva avsettes magasin størrelsen som ordinat (i fig. 4 ca. 500 mill. m<sup>3</sup>). Derved framkommer ei kurve, magasinkurve, som følger tillöpskurva. For hvert bruksår trekker en fra bølgetoppen på magasinkurve en rett linje til den nærmeste bølgedalen på tillöpskurva. Disse linjene angir den jevne vassføringa som en med den valgte magasin størrelsen, ville kunne få i de ulike år. Da går en ut fra at

etter vårflommen er magasinet fullt, men ved bruksårets slutt, er det tomt.

Det ugunstigste året er der tappelinjen har minst stigning, dvs. det minste jevne avløp pr. sek. Dersom en da i de vassrike år også tapper etter denne ugunstigste linjen, vil en få flomvatn, som må slippes forbi gjennom dammens flomløp.

I fig. 4 svarer denne linjen til ca.  $36 \text{ m}^3/\text{sek}$ .

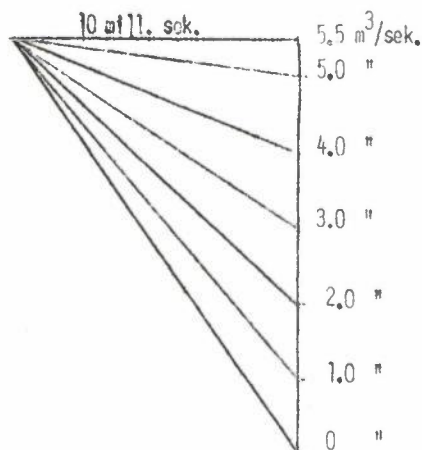
Undersöker en så med større magasin, vil en finne at det blir større, årvisst minimumsavløp, og en mister mindre vatn som flomvatn. Ved punkt A i fig. 4 er tillöp og avløp en tid like stort; magasinet er fullt. Men så blir tillöpet mindre enn avlöpet; magasinet tömmer mer og mer. Ved punkt B er det tomt. Deretter blir tillöpet i neste bruksårs flom betraktelig større enn avlöpet. Magasinet er fullt alt ved punkt C. Men enda er tillöpet større enn avlöpet, og overskuddet blir flomtap.

Den viste fremgangsmåten med å tegne opp tillöpskurven i rett- vinklet koordinatsystem er ikke nå vanlig lenger. Istedenfor dette brukes skjev vinklet koordinatsystem for å få bekvemmere format på framstillinga.

I dette tilfelle måles ordinatene ut fra ei skrå linje. Hellinga på denne skrålinja er slik at ei horisontal linje for de valgte målestokkene svarer til den gjennomsnittlige vassføring.

Eks. I et mindre vassdrag er det gjennomsnittlige tillöp i 12 år =  $5,5 \text{ m}^3/\text{sek}$ .

Vi velger: tidsmålestokk 1 cm = 1 måned  
tillöpsmålestokk 1 cm =  $10 \text{ mill. m}^3$



$10 \text{ mill. sek} = 0,317 \text{ år} = 3,8 \text{ cm}$   
Den vertikale linje velges slik at null-linjen ikke blir for bratt.



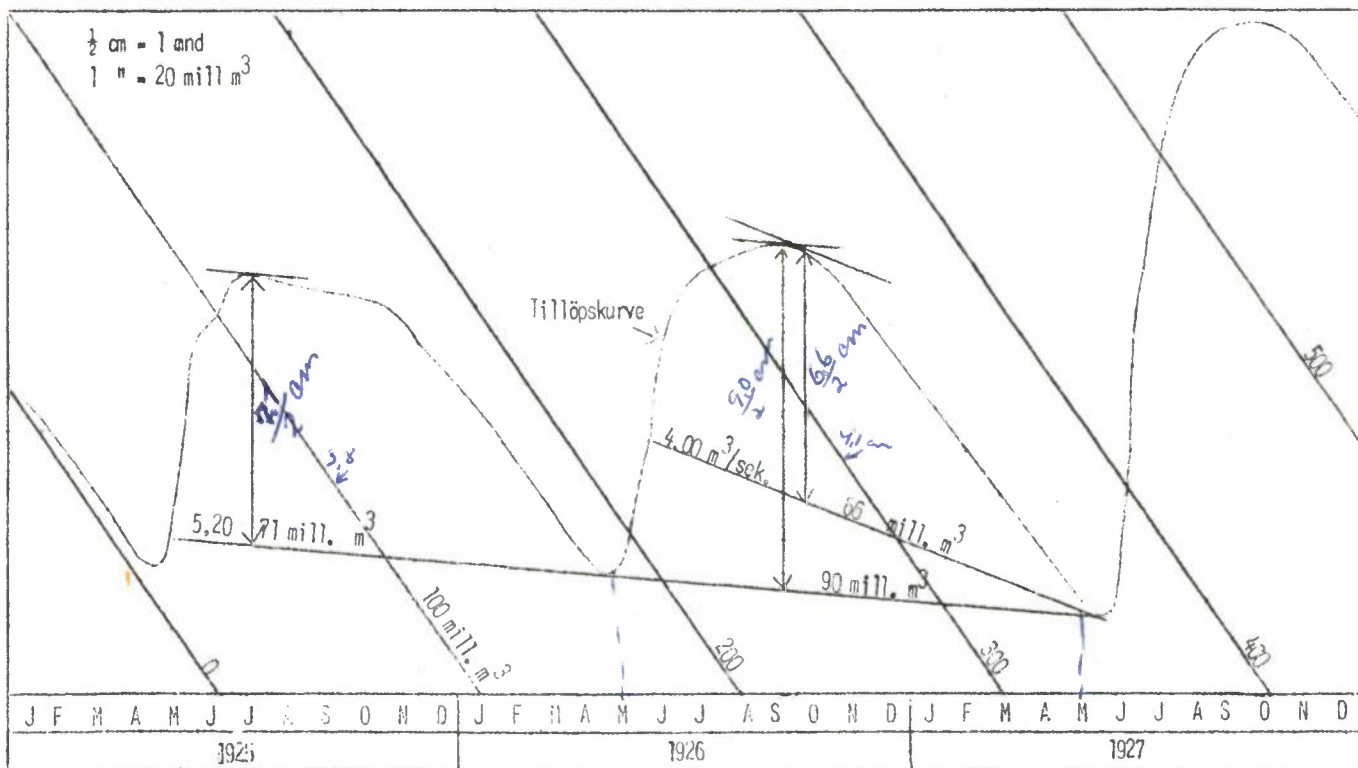


Fig. 5.

For bruksåret 26/27 ser vi at nødvendig magasin blir 66 mill.  $m^3$  om vassføringa skal være 4,00  $m^3$  pr. sek. Skal vassføringa bli 5,2  $m^3$ /sek., må magasinet være 71 mill.  $m^3$  i året 25/26 og 90 mill.  $m^3$  i 26/27. I bruksåret 1926-27 ser vi at det har vært meget lite tilløp i tiden oktober 1926 til begynnelsen av juli 1927.

Resultatet fra undersøkelsen med tilløpskurva sottes opp grafisk i de såkalte, "reguleringskurver".

I fig. 6 angir kurvene nødvendige magasiner ved forskjellige vassføringer for Numedalslågen ved Tunhovd, 1906-14. Her har en valgt å gå ut fra vassføringa i 1908-09; det nest ugunstigste året. Året 1911-12 var ekstraordinært tørt og ugunstig.

Den øvre delen av kurva er regnet ut etter flerårsregulering. Vassfattige år som følger etter hverandre, krever store magasiner.

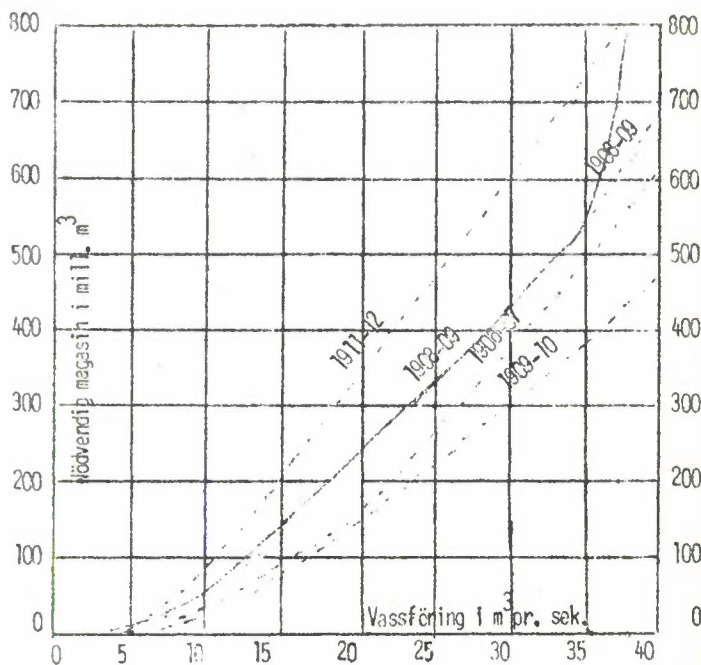


Fig. 6.

### 8. Vassføringskurve.

Ved mindre utjevning av vassføringa kan en også greie seg med enklere framstilling; men en må undersøke for flere år, særlig for tørre år.

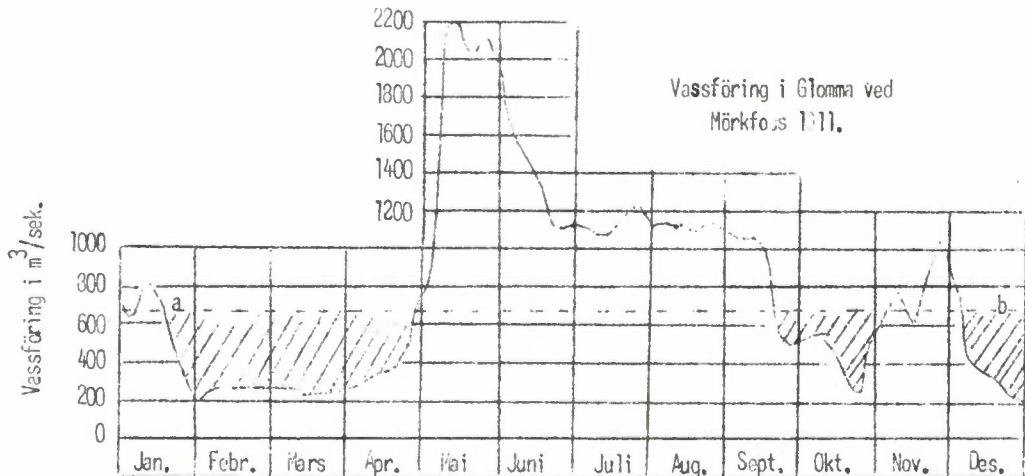


Fig. 7.

Skal lågvassføringa økes til ei bestemt vassføring, f.eks. vist i fig. 7 ved linjer a-b, representeres magasin størrelsen ved det skraver-te arealet. Ved fullstendig, "ideell", regulering, der alle flommene unn-gås og vassføringa blir jevn, må arealene mellom vassføringskurva og den horisontale linje, tappelinja, være like store på begge sider av den.

### 9. Reguleringens virkning.

Ei regulering virker fra reguleringsbassenget og ned til havet. Det blir forandringer i vasstanden og dermed i mange gamle tilvante for-hold.

Konsesjon gis etter loven bare i de tilfelle da fordelene er så store at skader og ulemper må ansees for å være av mindre betydning sammenlignet med fordelene, kostnadene med gjennomføring av reguleringa også tatt i betraktning.

Som regel vil den vesentligste fordel ligge i utvinning av større mengder elektrisk kraft; men det kan også være andre fordeler. Ved riktig manøvrering kan mange ganger hindres at en får skadeflommer i vassdraget. Dette vil være til nytte for jordeiendommene, for veier, jernbane, bruer, fløtingsanlegg og andre innretninger.

Den største skade gjøres ofte på eiendommene rundt reguleringsbassengene. Ved oppdemming settes jorden under vatn eller blir forsumpet.

En regner også med at fisket blir helt eller delvis ødelagt. Skaden blir størst når reguleringshöyden er stor og der foretas større senkinger.

I mange tilfelle kan en bli nødt til å legge om jernbaner og veger, bygge flötingsanlegg o.l.

Nedenfor reguleringsbassengene kan det bli tale om erstatninger på grunn av ødelagte fiskeplasser, ødelagte vinterveger, velteplasser m.m.

Ved feilaktig manövrering av dammene kan en også få større flommer enn för. Dette er tilfelle når bassenget blir fylt för flommen har kulminert. For å sikre seg mot dette har en i flere land bestemmelse om at bassenget normalt ikke må fylles helt; men bare til en bestemt höyde. Resten av bassenget skal brukes i ytterste nödsfall for regulering av plutselige store flommer (Hochwasserschutzraum).

#### 10. Vasslippinga.

Det er vanlig å holde så konstant vassföring som mulig igjennom hele tappeperioden og iallfall ikke öke vassföringa. Gör en det, får en lett oppvatninger og senere isdemninger med oversvømmelser. Ved små reguleringer vil en stor del av vatnet holdes tilbake i snöen langs elvefaret eller også fryse bort.

Ellers bör vasslippinga fra regulert sjö foregå slik at det vatnet som slippes fra dammen sammen med vatn fra nedslagsdistriktet, mellom dammen og kraftverket, gir den beste vassföring for verket.

Dette moment tilsier at vasslippinga ikke blir jevn; men retter seg til hver tid etter vassbehovet ved kraftverket og tillöpet mellom dammen og verket.

Er det flere reguleringsdammer i et elvelöp, tömmes gjerne de nederste först. Her er det større risiko for regn sent på hösten og om vinteren.

For övrig kan en i mange tilfelle måtte rette tappingsreglementet etter lokale forhold.

11. Forskjellige betegnelser.

Høyeste flomvasstand; den høyeste vasstand som er observert.

Alminnelig eller normal flomvasstand; den høyde flommen år om annet når opp til.

Alminnelig sommervasstand.

Alminnelig vintervasstand.

Lågeste vasstand; den lågeste vasstand som er iaktatt.

Midlere vasstand; det aritmetiske middel av alle de i et år med bestemte mellomrom avleste vasstander.

I innsjøer (sjøer, fjorder eller vatn), der regulering er gjennomført, taler en om:

Høyeste regulerte vasstand.

Lågeste regulerte vasstand.

For vassføringa i et vassdrag har en tilsvarende betegnelser: Største flom, alminnelig flom, alminnelig sommervassføring, alminnelig vintervassføring og minste vassføring (lågvasføring), og ved regulerte vassdrag regulert vassføring. Ved et vassdrags midlere eller gjennomsnittlige vassføring forstås årets vassføring delt på antall sekunder i året og ved et vassdrags lågvasføring i lovgivningen: den minste vassføring som år om annet er påregnelig i 350 dager av året.

Vassføringa regnes i liter eller  $m^3$  pr. sek.

Ved et vassfalls naturhestekrefter forstås en krafta i fallet uten fradrag for krafttap i ledninger og maskiner. Er bruttofallhøyden  $H_b$  m og vassføringa  $Q$   $m^3$  pr. sek., så er naturhestekreftene i fallet

$$= \frac{1000 Q \cdot H_b}{75} \text{ HK.}$$

Antall turbinhestekrefter får en når en fra naturhestekreftene trekker den kraft som tapes fra og med inntaket til og med avløpsledningen ved friksjon o.l.

Er falltapet  $h_m$  og turbinens virkningsgrad 0,85, fås antall turbinhestekrefter =  $\frac{1000 Q \cdot (H_b - h)}{75} \cdot 0,85 \text{ HK} = 11,3 Q(H_b - h) \text{ HK.}$

Antall elektriske hestekrefter fås når en tar hensyn også til dynamomaskinens virkningsgrad. Settes denne til 0,94, blir de elektriske hestekrefter:

$$\frac{1000 \cdot Q(H_b - h)}{75} \cdot 0,85 \cdot 0,94 = 10,65 Q(H_b - h) \text{ HK} = 7,84 Q(H_b - h) \text{ kW.}$$



12. Om tiltak i vassdrag, kort utdrag fra lov om vassdragene, av 15. mars 1940.

§ 104.

1. Bruer, dammer og andre anlegg som oppføres i eller over et vassdrag hvor almen ferdsel eller flöting foregår eller hvor fisk har sin gang, skal være innrettet så eller forsynt med slike særskilte innretninger for gjennomgang eller forbigang, at de er så lite til hinder for ferdslen, flötingen eller den frie fiskegang, som det er mulig uten uforholdsmessig utgift eller ulempe for anlegget.
2. Uten tillatelse av Kongen må slike anlegg ikke utføres så at de er til hinder eller ulempe av noen betydning for almen ferdsel eller flöting eller for den frie fiskegang.
3. Uten slik tillatelse kan heller ikke vatn bortledes fra vassdraget eller noen del av det, når bortledningen blir til hinder eller ulempe av noen betydning for almen ferdsel eller flöting eller for den frie fiskegang.
4. Det som her er fastsatt, skal også gjelde andre arbeid i vassdrag enn de tiltak som er nevnt, og likeledes ombygging, påbygging eller endring av eldre anlegg.
5. Tillatelse til midlertidige rådgjerder som går inn under pkt. 2, 3 eller 4, kan gis av Hovedstyret når de er nødvendige ved bygging i eller ved vassdrag eller ved völings- eller opprensingsarbeid.

§ 105.

Uten tillatelse av Kongen må det ikke iverksettes noe vassdragstiltak som kan ventes å medføre at dyrket eller dyrkbar jord eller naturlig eng, skog, torvmyr eller beitemark settes under vatn eller på annen måte ødelegges i så stor utstrekning at det etter forholdene på stedet må anses skadelig for almene interesser. Det samme gjelder andre tiltak som ved innvirkning på vassdraget kan ventes å medføre skade eller fare av betydning for andre offentlige eller almene interesser enn de som er nevnt i § 104, pkt. 2, så som ved elvebrudd eller forsumping eller ved tørrlegging av flygesand.

§ 106.

1. Tillatelse etter § 104, pkt. 2-4, og § 105 kan bare gis når det antas at tiltaket medfører slik nytte for samfunnet at skaden for de offent-

lige eller almene interesser mer enn oppveies.

2. I tillatelsen kan settes slike vilkår som finnes påkrevd av hensyn til de offentlige eller almene interesser som tiltaket utsetter for skade eller av hensyn til samfunnets nytte av tiltaket.
3. Den som setter tiltaket i verk i samsvar med tillatelse, er uten ansvar for ulempe som tiltaket medfører for det offentlige eller almenheten, når bestemmelsen i § 104, pkt. 1, er overholdt.

---

Den som vil oppføre anlegg i eller over vassdrag, må først ta for seg kravene i § 8, 104, 105, 108 og 109 og få forholdet til dem klarlagt. Dette skjer ved skjønn, se §§ 112 og 129. Skjønnet må få seg forelagt plan med beskrivelse og overslag, samt en begrunnet framstilling av de virkninger tiltaket antas å ville ha på de interesser som berøres.

Til et skjønn etter vassdragslovens § 112 skal fylkesmannen stevnes etter § 130, pkt. 5.

Finner skjønnet at tiltaket ikke kommer i strid med kravene i § 8, 104, 105, 108 og 109, trengs der ikke noen tillatelse til å sette det i verk.

#### § 111.

1. Tillatelse etter § 104 eller 105 og godkjenning etter § 109 taper sin gyldighet hvis arbeidet ikke er påbegynt innen 2 år etter at tillatelsen eller godkjenningen er gitt, og fullføres innen en ytterligere frist på 5 år. Under særlige omstendigheter kan dog andre frister fastsettes. Ved tidsberegningen medtas ikke tid som det har vært umulig å utnytte på grunn av arbeidsstans eller av andre årsaker.
2. Tillatelse etter § 104 eller § 105 kreves ikke til gjenoppbygging av lovlig bestående anlegg på omtrent samme sted, når arbeidet påbegynnes innen en frist av 2 år, fullføres med rimelig hurtighet og ikke medfører ugunstigere forhold for offentlige eller almene interesser enn det eldre anlegg

3. Foranstående bestemmelser får tilsvarende anvendelse med hensyn til skjønn etter § 112 og 113, pkt. 1. Fristforlengelse gis i disse tilfelle av vedkommende departement.

Om vedlikehold se § 120. For övrig vises til vassdragslovens bestemmelser når det gjelder detaljer som i det foregående ikke er nevnt.

