Norges vassdrags- og energiverk

VEILEDNING FOR DAMBRUDDSBØLGE-BEREGNINGER

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

Utgave 1, 01.07.97

VEILEDNING FOR DAMBRUDDSBØLGEBEREGNINGER

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. MÅLSETTINGEN FOR DAMBRUDDSBØLGEBEREGNINGER 4

2. GENERELLE FORUTSETNINGER, BEREGNINGER 4

2.1 Beredskaps- og evakueringsplaner 4

2.2 Klassifisering 4

2.3 Forutsetninger 5

3. INNSAMLING AV HYDRAULISKE DATA FOR VASSDRAGET 5

4. INITIALBETINGELSER 6

4.1 Hydrologiske betingelser 6

4.2 Hydrauliske betingelser 7

5. ANTATT DAMBRUDDSFORLØP 8

5.1 Hvelvdam 8

5.2 Gravitasjonsdam 8

5.3 Pilardam 9

5.4 Fyllingsdam 9

5.5 Murdam 11

5.6 Kistedam 11

5.7 Bukkedam 11

5.8 Andre damtyper 12

5.9 Sammensatte dammer 12

6. ROUTING 12

6.1 Vannføring ut av magasinet 12

6.2 Routing i vassdraget nedstrøms dammen 13

7. PRESENTASJON 13

8. DEFINISJONER 14

REFERANSER 16

VEDLEGG 17

1. Målsettingen for dambruddsbølgeberegninger

Hovedmålsettingen med dambruddsbølgeberegninger er at de skal inngå som et viktig element i dameiers beredskapsplaner og redningsmyndigheters evakueringsplaner.

Dambruddsbølgeberegninger kan også danne grunnlag for dammers klassifisering dersom det reises tvil om dammens plassering i klasse.

Veiledningen er ment som et hjelpemiddel til å utføre dambruddsbølgeberegninger på en slik måte at forannevnte målsettinger oppnås.

Ved gjennomføring av en dambruddsbølgeberegning må det foretas flere skjønnsmessige vurderinger. Veiledningen er utformet slik at disse vurderingene får minst mulig innflytelse på det endelige resultatet.

De viktigste resultatene fra en dambruddsbølgeberegning er ankomsttider, vannføringer, vannhastigheter og vannstander langs vassdraget nedstrøms dammen.

2. Generelle forutsetninger, beregninger

Dambrudd er et ekstremtilfelle, men forholdene rundt bruddet med tanke på hydrologiske, meterologiske, geotekniske og samfunnsmessige aspekter trenger nødvendigvis ikke å være ekstreme. Skadepotensialet på grunn av selve dambruddet og bruddbølgen vil være avhengig av forholdene i vassdraget.

2.1 Beredskaps- og evakueringsplaner

Det skal gjennomføres dambruddsbølgeberegninger for alle dammer i klasse 1 og 2.

Beregningene skal gjennomføres for følgende to situasjoner :

1. Ugunstig situasjon med stor initialvannføring i vassdraget. Denne settes til dimensjonerende flom, Q_{dim}.

2. Normalsituasjon med moderat initialvannføring i vassdraget. Denne settes til middelflom, Q_m.

Det skal utarbeides dambruddsbølgekart for hver situasjon.

2.2 Klassifisering

For klassifisering av dammer skal det benyttes den initialvannføring i vassdraget som gir størst konsekvenser i berørt område for mennesker, miljø og eiendom, /11 /, i forbindelse med dambruddsbølgen.

Berørt område defineres som området mellom vannstandene for initialvannføringen og dambruddsbølgen.

2.3 Forutsetninger

Den som utfører dambruddsbølgeberegningen forutsettes å ha gode kunnskaper i hydraulikk og hydrologi. Vedkommende må dessuten ha godt kjennskap til vassdraget hvor bølgeberegningen skal gjennomføres. Det forutsettes derfor at vassdraget befares og at rapport herfra foreligger.

Rapporten må inneholde opplysninger om viktige hydrauliske forhold som f.eks. trange tverrsnitt, flomsletter, friksjonsforhold eller steinstørrelser i elva, vegetasjon, spesielt rasfarlige elveskråninger, lagringsmuligheter for vann, etc. Trange tverrsnitt like nedstrøms magasinet som eventuelt skaper oppstuving helt opp til dammen, må studeres nøye da dette kan ha stor betydning for utløpshydrogrammet og dermed dambruddsbølgens forplantning nedover i vassdraget. Det er også viktig med gode data av trange tverrsnitt like nedstrøms store elvesletter da man her kan få lagring av store mengder vann. Foto og videodokumentasjon kan være nyttig.

Konstruksjoner i vassdraget som påvirker strømningen må også angis. Dette gjelder f.eks. bruer, terskler og kulverter.

Det forutsettes at hydrologiske flomberegninger i henhold til forskrifter for dammer, /1/, er utført i vassdraget på forhånd.

Det skal ikke regnes med profilforandringer på grunn av f eks erosjon, på naturlige profil i vassdraget.

Dersom man et stykke nede i vassdraget får en vannstandsstigning på mindre enn 1,0 m på grunn av dambruddsbølgen, kan beregningen avbrytes fra dette sted. Bølgeberegningen kan imidlertid ikke avbrytes hvis vannstandsstigningen enda lenger nede igjen overstiger 1,0 m, og at dette samtidig har konsekvenser for beredskap og klassifisering.

Hvis det er flere dammer i samme magasin kan man i beredskapsammenheng avbryte beregningen av den dambruddsbølgen som har minst bølgehøyde fra det sted hvor denne forskjellen er mindre enn 1,0 m. Bølgeberegningen kan imidlertid ikke avbrytes hvis forskjellen enda lenger nede igjen overstiger 1,0 m, og at dette samtidig har konsekvenser for beredskap.

I forbindelse med sammensatte dammer skal den damdelen velges som gir høyest dambruddsbølge.

Det skal regnes med dambrudd i serie (dominoeffekt). Om og når brudd på nedenforliggende dammer inntrer er beskrevet i pkt.5.

Ved elvesamløp skal det ikke regnes med at dambruddsbølgene fra to møtende elver påvirker hverandre. Brudd på dammer i forskjellige elver må altså sees på som separate hendelser.

3. Innsamling av hydrauliske data for vassdraget

Med hydrauliske data menes her geometriske data for vassdraget og tilhørende friksjonsdata samt tilsvarende data for konstruksjoner. Nøyaktigheten på ønsket datagrunnlag vil være avhengig av det nøyaktighetskrav som stilles til beregningene. I urbane områder vil kravet til

nøyaktighet være størst. Her vil også kartgrunnlaget være best, ofte i målestokk 1:1000 og 1 m ekvidistanse. Dette anses som nøyaktig nok, selv i områder hvor krav til nøyaktighet er stort.

Ellers finnes det stort sett økonomisk kartverk for områder lavere enn ca 600 moh. Disse har oftest målestokk 1:5000 og ekvidistanse 5 m. For lange elvestrekninger vil dette være bra nok, men i spesielt viktige områder, innsnevringer med stor lagringskapasitet oppstrøms, bør det sterkt vurderes (f.eks med støtte i følsomhetsanalyse med to forskjellige profiler) om man skal foreta oppmåling.

I alle områder finnes det kart i M-711-serien. Disse har målestokk 1:50 000 og ekvidistanse på 20 m. Dette må anses for å være et dårlig grunnlag for dambruddsbølgeberegninger. I områder hvor man bare har et slikt grunnlag anbefales det å gjennomføre oppmålinger av viktige profiler.

Viktigheten av profiler under vannspeilet vil være forskjellig, avhengig av bl a dybde under vannspeil og bølgehøyde. Det må vurderes om det er nødvendig med oppmåling av tverrprofiler under vann sett i sammenheng med nødvendig nøyaktighet. Også her kan følsomhetsanalyser være nyttige.

Det vil ofte være riktig å benytte forskjellig friksjonstall i forskjellige deler av elveprofilet. For selve elvetrauet bør friksjonstallet forsøkes kalibrert fra kjente vannstandsobservasjoner. Erfaringsmessig ligger oftest Manningstallet mellom 25 og 35 i selve elvetrauet. Ut over det normale strømningsarealet vil avvik fra disse tall kunne være betydelig. For å finne friksjonstallet på elveprofiler og deler av elveprofilet som ikke kan kalibreres, kan det henvises til /2/, /3/, /4/ og /5/.

Hvis det finnes andre konstruksjoner enn dammer (bruer, terskler, kulverter ol) som har betydning for strømningen må disse tas med i beregningene.

4. Initialbetingelser

4.1 Hydrologiske betingelser

Vannføringen inn i dambruddsmagasinet skal være identisk med innløpshydrogrammet iht flomberegningene.

Dambruddet skal starte på det tidspunkt maksimal vannstand for den aktuelle flomsituasjon nås. Dette vil si dimensjonerende flomvannstand (DFV) for situasjonen med dimensjonerende flom. For situasjonen med middelflom og evt andre flommer, må man vanligvis beregne/konstruere innløpshydrogrammet og utføre en routing gjennom dambruddsmagasinet før dambruddsberegningen gjennomføres, for å finne maksimal vannstand for middelflommen og evt andre flommer. Denne routingen skal starte med en vannstand i magasinet lik høyeste regulerte vannstand (HRV), slik som forutsatt i de hydrologiske flomberegningene når det gjelder dimensjonerende flom. Se fig 1.

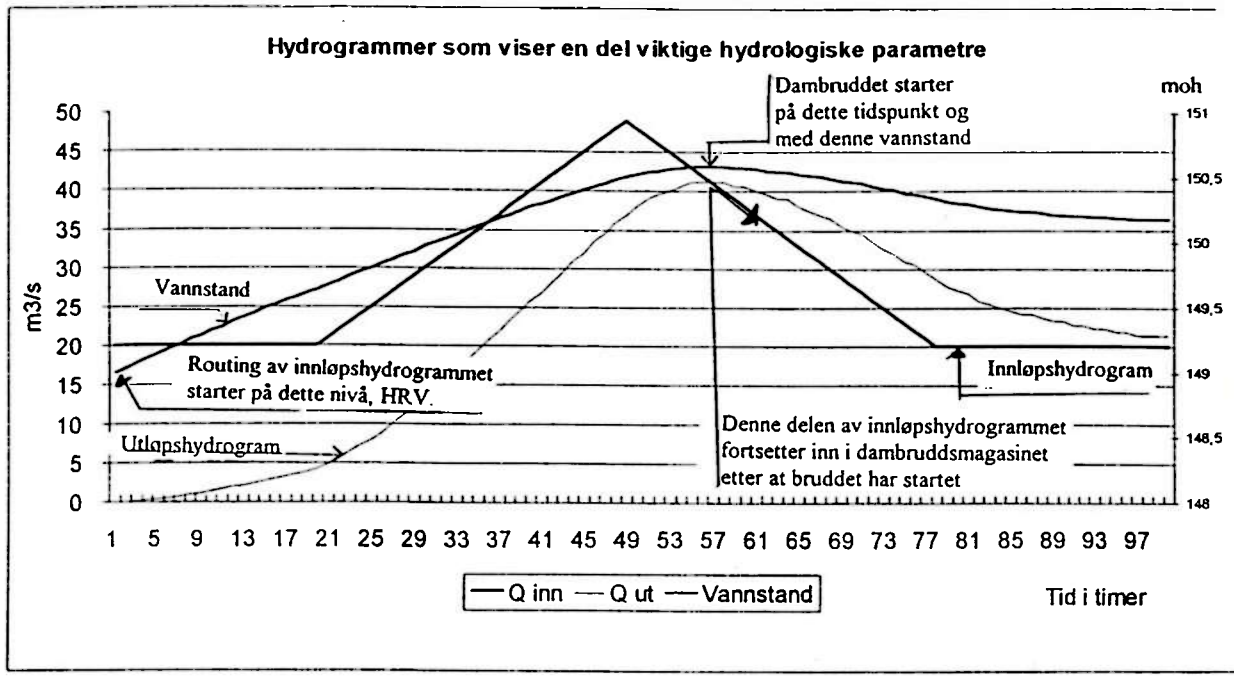


Fig 1. Figur som beskriver en del hydrologiske initialbetingelser, både dimensjonerende flom og middelflom.

Vannføringen nedover i vassdraget (initialvannføringen) skal settes til de to gitte flomsituasjonene, dimensjonerende flom og middelflom, og det antas stasjonære forhold.

Pga forenklingen med stasjonær vannføring nedover i vassdraget vil man i noen magasiner få høyere vannstander enn det som er beregnet i de hydrologiske flomberegningene. Dette gjelder magasiner som er så store at de ved routing av de aktuelle flommene, Q_{dim} og Q_m, gir en lavere vannføring ut av enn inn i magasinet. I de tilfeller hvor dette skjer må vannstanden korrigeres på en slik måte at den blir identisk med den beregnede vannstand iht flomberegningene. Dette kan f.eks gjøres ved å endre initialvannføringen forbi selve dammen eller trekke vann gjennom dammen ved hjelp av et fiktivt flomløp, kraftverket i drift e.l. Det er viktig at et slikt avløpsorgan ikke kan ta unna noe av vannføringen i selve dambruddsbølgen. Kapasiteten på avløpsorganet må av den grunn være uavhengig av vannstanden.

Mellom beregningspunktene for flomberegningene bestemmes initialvannføringen på en best mulig måte slik at man har hhv Q_{dim} og Q_m som initialvannføring på det aktuelle sted i vassdraget. Her er det vanligvis tilstrekkelig å fordele vannføringsøkningen proporsjonalt med nedbørfeltendringen og spesifikt avløp Man må imidlertid være oppmerksom på spesielle forhold som f.eks. elvesamløp hvor dambruddsbølgen munner ut i elver som har vesentlig større nedbørfelt.

4.2 Hydrauliske betingelser

Luker og flomavledningsorganer på nedenforliggende dammer forutsettes å ha den stilling som er lagt til grunn i flomberegningene for de aktuelle flommer. For middelflommen skal man ta utgangspunkt i manøvreringsreglementet, hvis flomberegningene ikke sier noe om lukestillinger for denne flomstørrelsen. Ingen luker i vassdraget skal manøvreres etter at dambruddet har startet. Kraftverk skal ikke ha vannføring

Videre forutsettes det også at flomavledningsorganenes kapasiteter er identiske med de som er benyttet i flomberegningene.

Vannstanden i havet skal alltid settes til kote 0.

Det skal forutsettes at bruer forsvinner når vannspeilet treffer underkanten av denne. Evt pilarer og brukar skal bli stående.

5. Antatt dambruddsforløp

I en dambruddsbølgeberegning, hvor man bl a skal beregne vannstand som funksjon av tiden i vassdraget nedstrøms en dam, er det svært viktig å ha best mulig kunnskap om vannføringen gjennom selve dambruddet, dvs utløpshydrogrammet.

Vannføringen ut av dambruddet vil være avhengig av mange forskjellige forhold som f.eks tilstrømningsforhold til magasinet, vannstand i magasinet, oppstuving nedenifra og bruddforløp.

For å beregne vannføringen ut av dambruddet anbefales det å benytte en metode hvor man først beregner bruddutviklingen (pkt 5) og deretter vannføringen ut av bruddåpningen (pkt 6.1).

5.1 Hvelvdam

Hvelvdam er en damtype som karakteriseres ved at kreftene overføres til dalsidene eller til evt pilarer på sidene /9/.

Ved denne damtype skal det antas momentant og fullstendig brudd. Med fullstendig brudd menes her at hele hvelvet, sammen med en av pilarene hvis dette finnes, bryter sammen.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende hvelvdam skal det antas brudd på hvelvdammen dersom vannstanden overtopper damkronen med minimum 0,4 ganger damhøyden, eller maksimalt 40 m, /12/, (dominoeffekten). Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer den grenseverdien (0,4 eller 40 m) som først nås, og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for hvelvdammen. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

5.2 Gravitasjonsdam

Gravitasjonsdam er en damtype som karakteriseres ved at den motstår vanntrykket pga sin egen tyngde /9/.

Her skal det antas momentant og delvis brudd. Med delvis brudd menes her at de tre naboseksjonene som gir størst maksimal vannføring ut av bruddet bryter sammen.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende gravitasjonsdam skal det antas brudd på gravitasjonsdammen dersom vannstanden overtopper damkronen med minimum 0,4 ganger damhøyden, /12/, (dominoeffekten). Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer grenseverdien (0,4) og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for gravitasjonsdammen. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

5.3 Pilardam

Pilardam er en damtype som karakteriseres ved at den består av en plate eller bue som tar opp vanntrykket og at det er pilarer som støtter plata og fører kreftene ned til fundamentet /9/.

Pilardammene kan deles inn i tre typer:

- Platedammer
- Lamelldammer
- Flerbuedammer

Her skal det antas momentant og delvis brudd. Med delvis brudd for pilardammer menes de tre nabofeltene mellom pilarene (inklusive de to mellomliggende pilarene) som gir størst maksimal vannføring ut av bruddet.

Hvis pilardammen blir konstruksjonsmessig ustabil når det fjernes tre felter og to pilarer, skal det regnes fullstendig brudd. Med fullstendig brudd regnes bortfall av alle plater og alle pilarer.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende pilardam skal det antas brudd på pilardammen dersom vannstanden overtopper damkronen med minimum 5 m, /12/, (dominoeffekten). Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer grenseverdien (5 m) og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for pilardammen. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

5.4 Fyllingsdam

Fyllingsdam er en damtype som karakteriseres ved at den består av oppfylte og komprimerte materialer av jord, grus og/eller sprengstein.

Her skal det antas at bruddet utvikler seg over tid og at det ikke er fullstendig.

Det er i hovedsak tre metoder som kan brukes for å beregne utløpshydrogrammet fra et brudd i en fyllingsdam. En oversikt over metodene er gitt i /7/. Metodene er:

1. Maksimal vannføring beregnes uten at det utføres beregninger av bruddforløp i det hele tatt.
2. Utløpshydrogram beregnes etter at bruddforløpet er beregnet, dvs det er ingen gjensidig påvirkning av erosjon og vannføring.
3. Utløpshydrogrammet beregnes samtidig med at bruddforløpet beregnes ved at vannføring og erosjon gjensidig påvirker hverandre, dvs en erosjonsmodell.

Det frarådes å benytte metode 1 til annet enn helt overslagsmessige vurderinger. Bl a fordi disse bare beregner maksimalvannføringen ut av bruddet.

Metode 2 er den som i dag antageligvis er mest benyttet i dambruddsbølgeberegninger. Her beregnes først bruddforløpet som funksjon av karakteristiske data for dam og magasin. Deretter beregnes vannføringen ut av bruddåpningen ved hjelp av overløpsformler, se pkt 6.1. For å beregne bruddforløpet etter metode 2 er ligning 1 og 2 mye benyttet, /8/. Ligningene er empiriske og erfaringsgrunnlaget er jordammer. Denne metoden bør benyttes ved beregning av

bruddforløpet i fyllingsdammer hvis ikke et annet bruddforløp kan dokumenteres. F eks ved anerkjente erosjonsmodeller eller modellforsøk.

$$b = 0{,}66 \bullet (V_r \bullet h_d)^{0{,}25} \qquad (1)$$

$$\tau = 0{,}0071 \bullet \frac{V_r^{0{,}47}}{h_d^{0{,}9}} \qquad (2)$$

hvor : b = midlere bruddbredde i m
τ = bruddtid i timer (tiden fra bruddet starter til det er ferdig utviklet)
V_r = magasinvolum i m^3 ved begynnende brudd
h_d = høyden mellom vannstand ved start av brudd (DFV og vannstand for middelflom) og bunn av ferdig utviklet brudd i m. Bunn av ferdig utviklet brudd skal legges til damfundamentet.

Sidehelningen Z kan settes til 0,5, se fig 2.

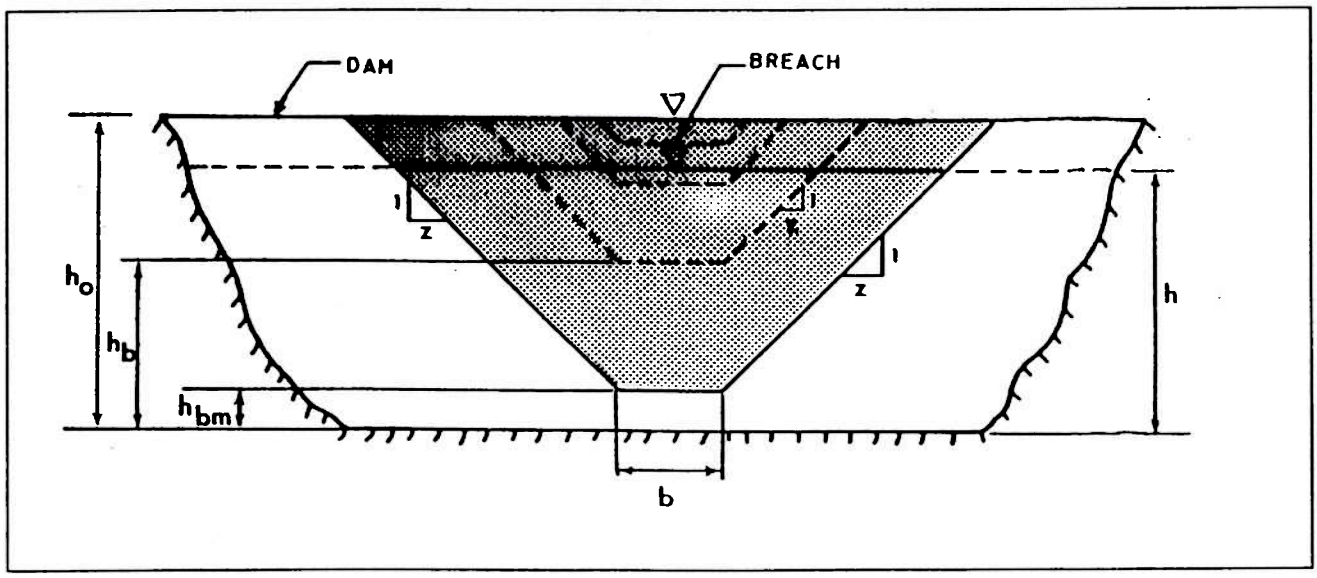


Fig 2. Bruddutviklingen i en steinfyllingsdam

Ved denne metoden antas det at bruddets årsak er overtopping. Bruddet starter med et punkt på toppen av dammen for deretter å bevege seg lineært med tiden både nedover og utover til sidene. Se fig 2.

Det antas at metode 3 ennå er lite aktuell da det ennå ikke er utviklet noen modell som tar hensyn til alle de viktigste mekanismer og strømninger som oppstår i en dambruddsituasjon for fyllingsdammer.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende fyllingsdam skal det antas brudd på fyllingsdammen dersom vannstanden overtopper damkrona, /12/, (dominoeffekten). Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer grenseverdien (damkrona)

og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for fyllingsdammen. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

5.5 Murdam

Murdam er en damtype som karakteriseres ved at den motstår vanntrykket pga sin egen tyngde og at de i overflaten er forblendet med oppmurte blokker.

Her skal det antas momentant og fullstendig brudd. Med fullstendig brudd menes her hele dammen over fundamentet.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende murdam skal det antas brudd på murdammen dersom vannstanden overtopper damkronen med minimum 0,2 ganger damhøyden, (dominoeffekten). Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer grenseverdien (0,2) og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for murdammen. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

5.6 Kistedam

Kistedam er en damtype som karakteriseres ved at den motstår vanntrykket pga sin egen tyngde. Den er bygget av langs- og tversgående tømmerstokker og mellomrommene er fylt med steinmateriale.

Her skal det antas momentant og fullstendig brudd. Med fullstendig brudd menes her hele dammen over fundamentet.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende kistedam skal det antas brudd på kistedammen dersom vannstanden overtopper damkronen med minimum 0,2 ganger damhøyden, (dominoeffekten). Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer grenseverdien (0,2) og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for kistedammen. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

5.7 Bukkedam

En bukkedam er en damtype som består av tre- eller stålbukker med oppstrøms tretetning.

Her skal det antas momentant og fullstendig brudd. Med fullstendig brudd menes her hele dammen over fundamentet.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende kistedam skal det antas brudd på bukkedammen dersom vannstanden overtopper damkronen med minimum 0,2 ganger damhøyden, (dominoeffekten). Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer grenseverdien (0,2) og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for bukkedammen. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

5.8 Andre damtyper

Det kan forekomme noen dammer som ved første vurdering ikke passer inn i inndelingen ovenfor. I slike situasjoner bør man likevel forsøke å tilordne dammene så godt som mulig til de typene som er beskrevet. Man kan f.eks tenke seg at lukedammer kan betraktes som pillardammer eller i noen tilfeller gravitasjonsdammer. Hvis dette ikke er mulig bør man allikevel tilstrebe å beholde noenlunde samme bruddsannsynlighet og bruddførløp som beskrevet for de andre damtypene.

5.9 Sammensatte dammer

Med sammensatte dammer menes en dam som er sammensatt av minst to forskjellige damtyper. Damdel er en del av dammen som bare består av en damtype /10/. I utgangspunktet skal det bare regnes dambrudd på en damdel, mens de andre damdelene på samme dam forblir intakte. Det skal antas brudd i damdelen som gir størst konsekvens for mennesker, miljø og eiendom i resten av vassdraget. Hvis damdelene som blir stående igjen blir statisk ustabile skal det også regnes brudd på disse. Bruddforløp og -størrelse skal være som beskrevet for den enkelte damtype ovenfor.

Hvis en dambruddsbølge treffer en nedenforliggende sammensatt dam skal det antas brudd på denne dammen dersom vannstanden overskrider de grensene som er gitt for de forskjellige damtypene. (dominoeffekten) /12/. Dambruddet på denne dammen skal starte i det vannstanden passerer de enkelte grenseverdiene for de forskjellige damtypene og ellers ha samme bruddforløp som nevnt for den enkelte damtype. I denne situasjonen skal det regnes at man får brudd på alle damtypene hvor grenseverdiene for vannstand overskrides. Det skal også regnes brudd på de damtypene som blir stående igjen hvis de konstruksjonsmessig blir ustabile. Dambruddet skal skje uavhengig av om denne nedenforliggende dammen er en dam i klasse 1, 2 eller 3.

6. Routing

6.1 Vannføring ut av magasinet

For beregningen av vannføringen gjennom dambruddsåpningen skal det benyttes metoder, ligninger og koeffisienter som er tilpasset den aktuelle bruddform. I de fleste situasjoner vil det være korrekt å benytte overløpsformelen for brede og triangulære overløp. Hvis forholdet mellom overløpshøyden og bredden (tykkelsen på dammen) på overløpet er større enn 3 kan det antas at overløpet er skarpkantet, /2/. For aktuelle ligninger og koeffisienter henvises her til /2/ og /6/.

Man må være oppmerksom på trange snitt i magasinet oppstrøms dammen som kan bli kritisk eller gi stort falltap, og som dermed vil redusere vannføringen ut av magasinet. I slike situasjoner må det benyttes dynamisk routing i magasinet. Ved lange og smale magasin samtidig med hurtig bruddutvikling kan det også være nødvendig å benytte dynamisk routing i magasinet. Det kan benyttes hydrologisk routing, f eks magasinrouting, hvis vannspeilet i hele magasinets utstrekning er tilnærmet horisontalt under hele tømmetiden for magasinet.

Oppstuvning fra trange tverrsnitt nedstrøms dammen må det tas hensyn til.

6.2 Routing i vassdraget nedstrøms dammen

En-dimensjonal beregning vil i de aller fleste tilfeller være tilstrekkelig. Man må imidlertid vurdere om nøyaktighetskravet på enkelte steder er stort, samtidig som to og tre-dimensjonale effekter på de samme steder gjør seg så sterkt gjeldende at det er nødvendig å beregne kortere elvestrekninger med slike modeller.

Ved de en-dimensjonale beregningene anbefales det å benytte full dynamisk beregning da dette gir den mest korrekte beskrivelsen av bølgebevegelsen nedover i vassdraget. Denne metoden kan imidlertid forenkles. Jo brattere bølgefronten er og jo slakere elva er, jo viktigere blir det med full dynamisk beregning.

Hydrologisk routing kan bare benyttes når vassdraget er klart oppdelt i seksjoner og hvor kritisk snitt hverken beveger seg oppover eller nedover i vassdraget. Videre kan denne metoden kun benyttes når man har meget lav vannhastighet, og det kan antas momentan virkning ved utløpet av en forstyrrelse ved innløpet til de enkelte magasin. Vannføringskurvene for de forskjellige kritiske snitt kan heller ikke være påvirket av vannstanden nedstrøms.

Det skal ses bort fra vanntap nedover i vassdraget. Med vanntap menes vann som forsvinner ned i grunnen, blir liggende igjen i mindre groper som ikke kommer fram av vassdragets geometriske data som benyttes i beregningene, fordamping el.

Ikke-aktivt strømningsareal må inkluderes på de strekninger hvor det er lagringsmuligheter av vann uten at dette er aktivt med i strømningen.

7. Presentasjon

De to beregningene (dimensjonerende flom og middelflom) skal presenteres hver for seg, dvs på hver sine kartsett. Kartsettene som benyttes skal være de best egnede. Med dette menes at det i bebygget område helst benyttes kart med målestokk 1:5000 og 5 m ekvidistanse. Dette er standard økonomisk kartverk og finnes stort sett der hvor det er økonomiske interesser, bebyggelse eller i områder som ligger lavere enn granskoggrensa. I områder hvor det finnes kart med mindre ekvidistanse bør disse benyttes. Når det benyttes kart med ekvidistanse 5 m, kan det være nødvendig å innhente høyder for hus o.l. fra andre kilder for å få bestemt om huset blir berørt eller ikke. Andre spesialkart kan i enkelte tilfeller være godt egnet, f.eks orienteringskart. Kart i M 711-serien, målestokk 1:50 000 og 20 m ekvidistanse, må anses som dårlig egnet i bebygget område.

I bebygget område skal det på de ovenfor nevnte karttyper presenteres:

- Vannlinjer for maksimal bølgeutbredelse
- Berørt areal for maksimal bølgeutbredelse skraveres
- Plassering av benyttete profiler med markering av profilnr.

På hele beregningsstrekningen skal det på kart i kartverkets serie M 711 presenteres:

- Plassering av de benyttete tverrprofiler med markering av:
- Profilnr

- Ankomsttid for dambruddsbølgefront
- Ankomsttid for dambruddsbølgetopp
- Maksimal vannstandstigning over initialvannstand
- Midlere vannhastighet

Alle benyttete profiler skal tegnes opp. I tillegg til selve profilet skal de vise evt inndeling i aktivt/delvis aktivt/ikke aktivt strømningsareal. Friksjonstall som er benyttet skal angis.

Det skal for alle tverrprofiler som benyttes i beregningen presenteres resulterende hydrogrammer og høydehydrogrammer.

I rapporten må alle inngangsdata presenteres . Videre må det beskrives hvordan man har kommet fram til resultatet, f.eks hvilke routingmetoder og dataprogrammer som er benyttet, og hvordan inngangsdataene er innhentet. Hvis det er gjort spesielle valg eller forutsetninger, må dette forklares og begrunnes.

I rapporten skal det listes opp alle viktige berørte konstruksjoner som f.eks:

- Sykehus
- Skoler
- Viktige fabrikker og kraftverk
- Kommunikasjonssentraler, tele, TV, radio
- Vannforsyningsanlegg
- Kloakkrenseanlegg
- Søppelfyllinger og deponier av spesialavfall
- Veier og jernbane
- Militære anlegg

Hvis det i beregningene er benyttet kommersielle dataprogrammer, skal inngangsfilene og resultatfilene lagres elektronisk sammen med opplysninger om program og versjon som er benyttet. Lagringsmediet skal vedlegges rapporten.

8. Definisjoner

Dambruddsmagasin	Magasinet til den dammen som det beregnes brudd på
Beregningsstrekning	Den elvestrekning som dambruddsbølgen skal beregnes for
Vanntap	Vann som beveger seg ned i grunnen eller endrer fase
Hus	Bolig eller andre bygninger der mennesker oppholder seg over noe tid
Initialvannføring	Den vannføring som går i vassdraget umiddelbart foran dambruddsbølgen
Dimensjonerende flom, Q_{dim}	Den flom som har et gjentaksintervall på 1000 år

Bruddforløp	Den størrelse og form et dambrudd har som funksjon av tiden
Middelflom, Q_m	Den flom som har et gjentaksintervall på ca 2 år
Bebygget område	Område med hus og/eller viktig infrastruktur
Bølgefront	Det sted på bølgen hvor den har steget 1,0 m over initialvannstanden
Hydrogram	En kurve som viser sammenhengen mellom tid og vannføring på ett sted i vassdraget
Høydehydrogram	En kurve som viser sammenhengen mellom tid og vannstand på ett sted i vassdraget

Referanser

/1/ Universitetsforlaget, "Forskrifter for dammer", 1981
/2/ French,R.H., "Open Channel Hydraulics", McGraw-hill International Editions, 1985
/3/ Petryk,S., "Analysis of flow through vegetation", Journal of Hydraulic Engineering, July 1975
/4/ Dahl,T.E., "Hydrauliske beregninger i sammensatte profiler", NHL, 1989
/5/ Beheim,E, Vegetasjon i kanaler og elveløp, NVE,1982
/6/ Fread,D,L, "The NWS DAMBRK MODEL: THEORETICAL BACKGROUND/USER DOCUMENTATION", Department of Commerce, 1988
/7/ Skoglund,M, "Dambruddsberegninger, Flodbølgeberegninger, Forhåndsarbeide, Delrapport 1, Litteraturstudium og overføring til norske forhold", SINTEF 1994
/8/ Froelich,D.C., "Embankment-Dam Breach Parameters", Proceedings of the 1987 National Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, 1987
/9/ Guttormsen,O, "Vassdragsteknikk 1", NTH, 1989
/10/ NVE, "VVT's anleggsregister, definisjon av damlengde m.v.", Bjarne Nicolaisen, Kjell Molkersrød, VVT-notat
/11/ "Sikkerhetshåndbok for vassdragsanlegg, retningslinjer", NVE, 1996
/12/ KSFN

Vedlegg

Forberedende arbeid:

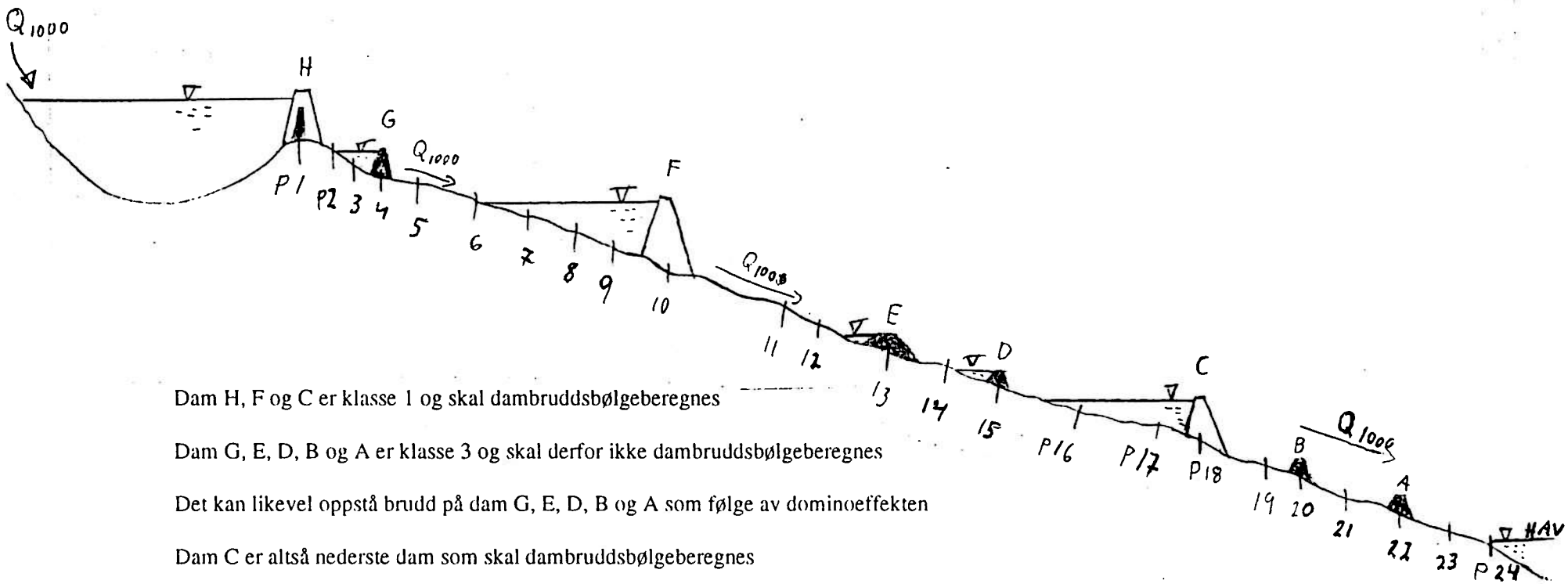
1. Bestemmelse tas om at det skal utføres dambruddsbølgeberegning for en eller flere dammer i et vassdrag.
2. Skaff oversikt over alle dammer som finnes i vassdraget
3. Kontakt tas med alle andre aktuelle dameiere i vassdraget for å koordinere dambruddsbølgeberegningene
4. Kontakt bør tas med andre interessenter i vassdraget som kan tenkes å ha interesse i lignende beregninger for å koordinere datainnsamling, beregninger og presentasjoner, f eks kommuner og NVE i forbindelse med flomsonekartlegging.
5. Endelig bestemmelse av hvilke dammer som skal dambruddsbølgeberegnes og hvilke som bare berøres.
6. Innsamling av data for de dammer som skal dambruddsbølgeberegnes og for de som bare berøres. Dette er data som f.eks damtype, magasinkart, magasinkurver, avløpskapasiteter og flomberegninger.
7. Foreløpig innsamling av data fra vassdraget. Dette er er stort sett profildata med friksjonstall.
8. Befaring av vassdraget med spesiell vekt på trange tverrsnitt like nedstrøms dammen og ellers trange tverrsnitt nedstrøms flomsletter. Videre bør det i befaringen legges vekt på friksjonsforholdene.
9. Komlettering av data med f.eks. profilering.
10. Befaringsrapport.

Beregninger og presentasjon
(se fig 3 og 4. *Referanser til fig er gitt i kurrsiv*)

1. Start med elvestrekningen nedenfor nederste dam i vassdraget som skal dambruddbølgeberegnes, *C*, og skriv inn noen få profiler i vassdraget nedstrøms dammen, f eks *P18 og P24*. Det kan være dammer i klasse 3, *B og A*, lenger nede i vassdraget som ikke skal dambruddsbølgeberegnes, men som bare berøres av dambruddsbølgen. Benytt de enkleste profilene. Lag et lite enkelt hydrogram, *tegning nr 1 i fig 4*, som inngangsvannføring til vassdraget i stedet for et dambrudd. Dette hydrogrammet bør ha svak stigning og liten absoluttverdi sammenlignet med dambruddsbølgen. Benytt Q_{dim} som initialvannføring. Forsøk å beregne denne bølgens bevegelse nedover.
2. Utvid deretter gradvis vassdraget nedover fra nederste dam, *tegning nr 2 i fig 4, P19, P20, P21 P22 og P23*, slik at man til slutt har skrevet inn og beregnet den strekningen av vassdraget som sannsynligvis må beregnes. Her må man også ta med evt dammer, *A og B*. Benytt det hydrogrammet som er skrevet inn i pkt 1. Utfør beregninger ofte slik at det er kjent hvor i vassdraget evt problemer med beregningen oppstår.
3. Legg inn dam, *C*, og magasin og beskriv et lite og langsomt utviklende brudd, *tegning nr 3 i fig 4*, og beregn denne bølgen nedover.
4. Legg inn korrekt bruddforløp, *C*, og beregn denne bølgen så langt nedover vassdraget som beregningen skal utføres, *tegning nr 4 i fig 4*.
5. Legg inn evt dambrudd på nedenforliggende dammer, *A*, som følge av dominoeffekten og beregn dambruddsbølgen, *tegning nr 5 i fig 4*. Kontroller at vannstandstigningen ikke vil overskride 1,0 m utenfor beregningsstrekningen. Nå er dambruddsbølgen for nederste dam med initialvannføring Q_{dim} beregnet.
6. Gjør den presentasjonen som er nødvendig, påtegning på kart osv, *tegning nr 6 i fig 4*.

7. Legg inn ny initialvannføring, Q_m, og utfør beregningen, *tegning nr 7 i fig 4*. Kontroller at evt brudd på nedstrøms dammer, *A*, er ihht de krav som er satt. Kontroller at vannstandstigningen ikke vil overskride 1,0 m utenfor beregningsstrekningen. Nå er dambruddsbølgen for nederste dam med initialvannføring Q_m beregnet.
8. Gjør den presentasjonen som er nødvendig, opptegning osv, *tegning nr 8 i fig 4*.
9. Nederste dam er nå helt ferdig beregnet og vassdraget bygges ut videre oppover til neste dam, *F*, som skal beregnes. Benytt de aktuelle inngangsfilene, en for Q_{dim} og en for Q_m, som ble benyttet og skriv inn profiler og dammer i klasse 3, *P10 - P17 og D og E*, videre oppover mot neste dam. Ikke la nederste dam, *C*, få dambrudd, men la i stedet innløpshydrogrammet som ble benyttet i pkt 1 være vannføringen inn øverst i vassdraget. Beregn vannføringen nedover i vassdraget ofte slik at det er kjent hvor i vassdraget evt problemer med beregningen oppstår, *tegning nr 9 i fig 4*. Gjennomfør deretter pkt 3-8 og man har beregnet ferdig nest nederste dam, *F*.
10. Pkt 9 gjentas inntil alle dammer, *C, F og H*, i vassdraget som skal dambruddbølgeberegnes er ferdig.

"HELE VASSDRAGET"



Dam H, F og C er klasse 1 og skal dambruddsbølgeberegnes

Dam G, E, D, B og A er klasse 3 og skal derfor ikke dambruddsbølgeberegnes

Det kan likevel oppstå brudd på dam G, E, D, B og A som følge av dominoeffekten

Dam C er altså nederste dam som skal dambruddsbølgeberegnes

Fig 3. Skisse av vassdraget som beskrives i "forslag til fremgangsmåte for dambruddsbølgeberegninger", se vedlegg.

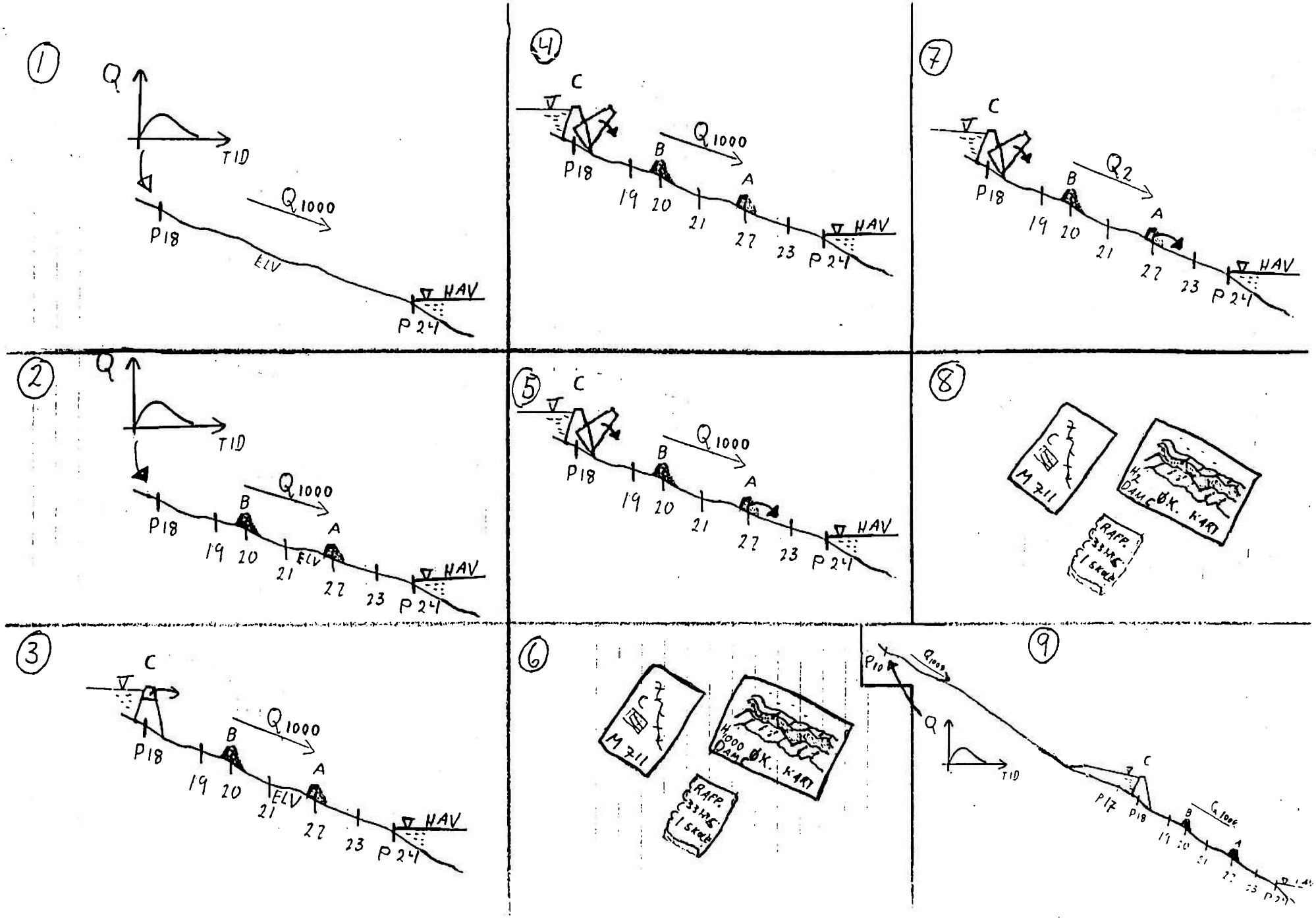


Fig 4. "Tegneserie" av "fremgangsmåte for dambruddsbølgeberegninger", se vedlegg.