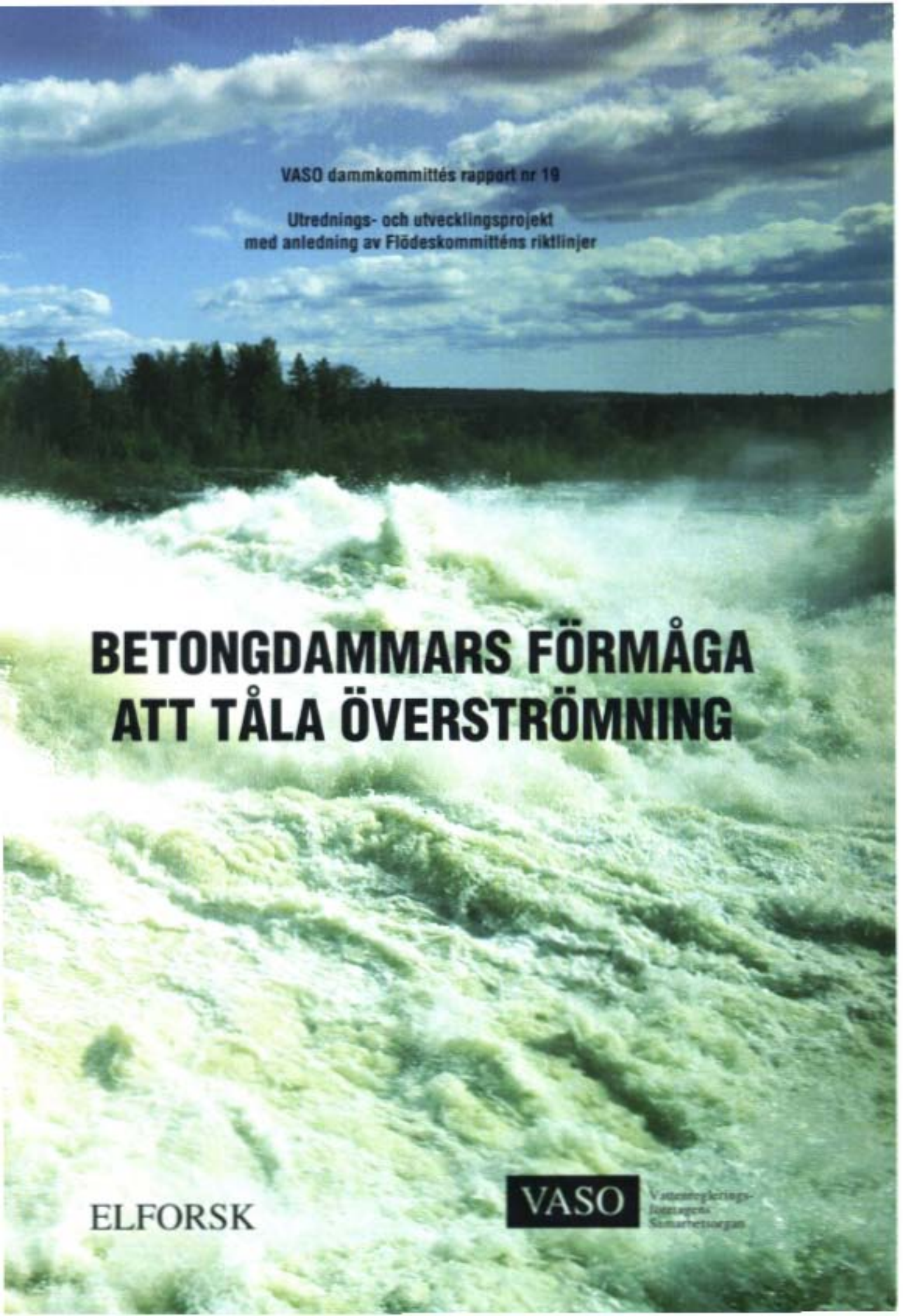


VASO dammkommittés rapport nr 19

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

BETONGDAMMARS FÖRMÅGA ATT TÅLA ÖVERSTRÖMNING

ELFORSK

VASO

!

VASO dammkommittés rapport nr 19

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

BETONGDAMMARS FÖRMÅGA ATT TÅLA ÖVERSTRÖMNING

Georg Andersson, Vattenfall Vattenkraft

Omslagsfoto: Bengt Johansson, Vattenfall
Grafisk form: Fras&Form
Tryck: Spånga Tryckeri AB 1995
ISSN 1400-7827

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD i

SAMMANFATTNING ii

SUMMARY iii

1. INLEDNING 1

2. EROSION AV STÖDFYLLNING PÅ BETONGDAMMENS NEDSTRÖMSSIDA 3
2.1. Allmänt 3
2.2. Nedströmsvattenytan når högre än stödfyllningen 3
2.3. Nedströmsvattenytan på en lägre nivå än stödfyllningen 4
2.3.1. Erosion av ytlagret 5
2.4. Förstärkningsåtgärder 7
2.4.1. Förstärkning med erosionsskydd 7
2.4.2. Förstärkning med spännstål 7

3. ANSLUTNING MELLAN BETONG- OCH JORDDAMM 9
3.1. Allmänt 9
3.2. Skydd mot överströmning av fyllningsdammsanslutning 9
3.3. Inre erosion 10
3.4. Yttre erosion 10

4. EROSION AV BERGGRUNDEN NEDSTRÖMS BETONGDAMMEN 11
4.1. Allmänt 11
4.2. Laboratorieförsök 11
4.3. Erosion av berggrund 12
4.4. Förstärkning 12

5. AVBÖRDNINGSMÖJLIGHETER PÅ NEDSTRÖMSSIDAN 15
5.1. Allmänt 15
5.2. Trånga sektioner 15
5.3. Åtgärder för att hindra uppkomsten av skadlig erosion 15
5.4. Ny strömfåra 16
5.5. Isdämmor 16

6. FÖRÄNDRING AV STABILITETEN 17
6.1. Allmänt 17
6.2. Belastningar vid nuvarande förhållanden 17
6.2.1. Betongdammar 17
6.2.2. Utskov 18
6.3. Belastningar vid överströmning av dammanläggningar 18
6.3.1. Uppströms horisontellt vattentryck 18
6.3.2. Nedströms horisontellt vattentryck 18
6.3.3. Vertikala vattenlaster 18
6.3.4. Egenvikt 19
6.3.5. Upptryck 19

6.3.6. Islast 19
6.3.7. Jordtryck 19
6.3.8. Trafiklast 20
6.4. Stabilitetsberäkning 20

7. HÅLLFASTHETSFRÅGOR 23
7.1. Allmänt 23
7.2. Ökad vattenlast 23
7.3. Tillkommande belastning 24
7.4. Belastning på övrig utrustning 24

8. SLUTSATSER 25

9. REFERENSER 27

FÖRORD

Vattenkraftutbyggnaden och därmed byggande av stora dammar startade i stor skala i Sverige efter andra världskriget och var mest omfattande under 50- och 60-talen.

Principerna för utformning och konstruktion av dammanläggningarna under denna intensiva utbyggnadsperiod äger i huvudsak sin giltighet fortfarande.

Vad avser krav på utskovens avbördningsförmåga har dessa föreslagits av dammägarna och (efter eventuella justeringar) fastställts av vattendomstol med SMHI som sakkunnig. Kriterierna i detta avseende kan därför sägas ha etablerats gemensamt av dammägarna och SMHI.

Under 1980-talet ifrågasattes i Sverige, såsom tidigare skett i många andra länder, de etablerade principerna för utskovsdimensionering. Flödeskommittén, som tillsattes av kraftindustrin och SMHI för att utreda flödesriskerna, föreslog i sin slutrapport ett nytt sätt att beräkna dimensionerande tillrinning. Kriterierna innebär att dammar med allvarliga brottkonsekvenser skall kunna klara ett påtagligt högre tillflöde än vad man tidigare räknat med.

För att på ett säkert och kostnadseffektivt sätt kunna anpassa dammbeståndet till de nya kraven har ett stort antal utredningar och utvecklingsprojekt genomförts. Dessa projekt har genomförts på uppdrag av VASO dammkommitté, som är kraftindustrins gemensamma organ i dammsäkerhetsfrågor och bland annat har till uppgift att samordna dammarnas anpassning till de nya riktlinjerna. Den styrgrupp som lett arbetet har bestått av Harald Eriksson – Sydkraft, som varit ordförande, Sten Lasu – Svenska Kraftverksföreningen, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen samt Malte Cederström och Urban Norstedt – Vattenfall.

För varje projekt finns en rapport och därtill finns en sammanfattande rapport över hela arbetet, huvudrapporten (nr 1), vilken även innehåller en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Föreliggande projekt har genomförts av Georg Andersson, Vattenfall AB och Bengt Forsberg, Vattenfall Hydropower AB med Harald Eriksson, Sydkraft, som ombud för beställaren.

Rapporten beskriver betongdammars tålighet för överströmning. Utredningen visar att man inte utan vidare kan tillåta att vatten strömmar över betongdammar, utan först måste man göra kontroller av dammens stabilitet, geologi nedströms, anslutande jordfyllningsdammar etc.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

Denna utredning har tillkommit för att avgöra om och under vilka förutsättningar det är möjligt att klara dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer genom överströmning av betongdammar. Resultatet visar att något enkelt generellt svar ej går att ge. Nödvändiga undersökningar måste utföras och först därefter kan man ta ställning till huruvida det är fördelaktigare att låta vattnet överströmma betongdammen än att bygga fler utskov.

Några av dessa undersökningar gäller anslutningen till befintlig fyllningsdamm. Detta område måste ägnas särskild uppmärksamhet eftersom det är ett känsligt område, som lätt kan erodera vid överströmning, om inte nödvändiga åtgärder vidtas.

När det gäller fyllningsdammars förmåga att klara dämning över dämningsgränsen så behandlas detta i ett särskilt projekt [5].

I utredningen beskrivs kontroll av betongdammens stabilitet för de nya belastningarna. Betongkonstruktionens allmänna status bör också kontrolleras med hänsyn till de nya påkänningarna och risk för kavitation i utskov.

Rapporten visar dessutom på att det kan vara nödvändigt att göra geologiska undersökningar nedströms betongdammen och även längs hela den nybildade älvfåran. Exempelvis kan det strax nedströms dammen finnas sprickigt berg. Om en del av detta berg rycks loss vid överströmningen kan detta innebära risk för dammens stabilitet. Berget kan därför behöva förstärkas med betongpågjutning som förankras och dräneras.

Den geologiska grundundersökningen ger även svar på om att det finns erosionskänsliga partier längs den nya älvfåran. Om dessa börjar erodera kan det resultera i mer eller mindre stora skador. Dessa områden måste således förses med erosionsskydd om skadorna skulle innebära risk för dammens säkerhet.

SUMMARY

This report has been produced to determine if, and under which conditions, it is possible to handle new design floods by overtopping concrete dams according to the guidelines established by "Flödeskommittén". The result shows that it is impossible to give a simple general answer. It is neccessary to perform new and more thorough examina-tions before one can decide whether it is advantageous to overtop the concrete dam or to build more spillways.

Some of the examinations concern the connection to the earthdam. This very sensitive area must be particularly examined, since it easily erodes without the necessary pre-cautions.

Questions regarding what happens with the earthfilled dam when the water level reaches above the maximum retention level is reported in a separate project [5].

In this report, stability calculations for the new loads are described. The general status of the concrete structures ought to be checked with regard to the new loads and the risk for cavitation of spillways.

The report also shows that it may be necessary to perform geological investigations downstream the concrete dam and even along the new waterway. For instance, there may be a number of cracks in the bedrock downstream and close to the dam. If some of this rock is torn up when overtopped, this can jeopardize the stability of the dam. Therefore the bedrock may require strengthening by concrete which is anchored and drained.

The geological investigation of the soil also gives the answer to the question if there are some parts along the new waterway that are more sensitive to erosion. If these parts start to erode it may result in more or less serious damages. Thus, areas prone to jeopardize the dam safety when exposed to erosion must be protected from such.

1. INLEDNING

I samband med att man inom svensk kraftindustri anpassar befintliga dammanläggningar till nya dimensionerande flöden enligt slutrapport från Flödeskommittén [1], uppstår ett antal frågor att ta hänsyn till ifall utskovskapaciteten inte är tillräcklig. En sådan frågeställning är om de nya dimensionerande flödena går att klara genom överströmning av betongdammar utan att stabiliteten härigenom äventyras och att inga allvarliga skador på nedströmssidan uppstår. De problem som i en sådan situation kan uppstå och som i så fall måste utredas framgår av följande utredning.

2. EROSION AV STÖDFYLLNING PÅ BETONGDAMMENS NEDSTRÖMSSIDA

2.1. Allmänt

När fyllning förekommer på nedströmssidan av en betongdamm kan den ha en stödjande funktion, dvs den behövs som en extra förstärkning för att uppfylla stabilitetskraven på betongdammen. I samband med att överströmning av betongdammen pågår kommer stödfyllningen att utsättas för erosion. Dessutom kommer en del av de övriga belastningarna på dammen att förändras allteftersom uppströmsvattenytan och eventuellt även nedströmsvattenytan stiger. Detta innebär att vissa laster kommer att öka, några tillkommer och någon last, t ex den horisontella islasten, upphör helt. För att försäkra sig om att dammen inte kommer att raseras är det därför angeläget att man gör en bedömning av huruvida stödfyllningen behövs även under den tid avbördning sker över dammen. Enligt avsnitt 6.3.7 görs en stabilitetsberäkning under antagandet av att stödfyllningen har eroderat bort. Om nu inte stabilitetskravet kan uppfyllas utan denna stödfyllning, bör man analysera om huruvida stödfyllningen kommer att kunna motstå erosionspåverkan eller inte från det överrinnande vattnet. Och om den inte gör det, vilka förstärkningsåtgärder kan i så fall vara lämpliga att vidta? I slutet på detta kapitel skisseras några förslag på vanligen förekommande förstärkningar.

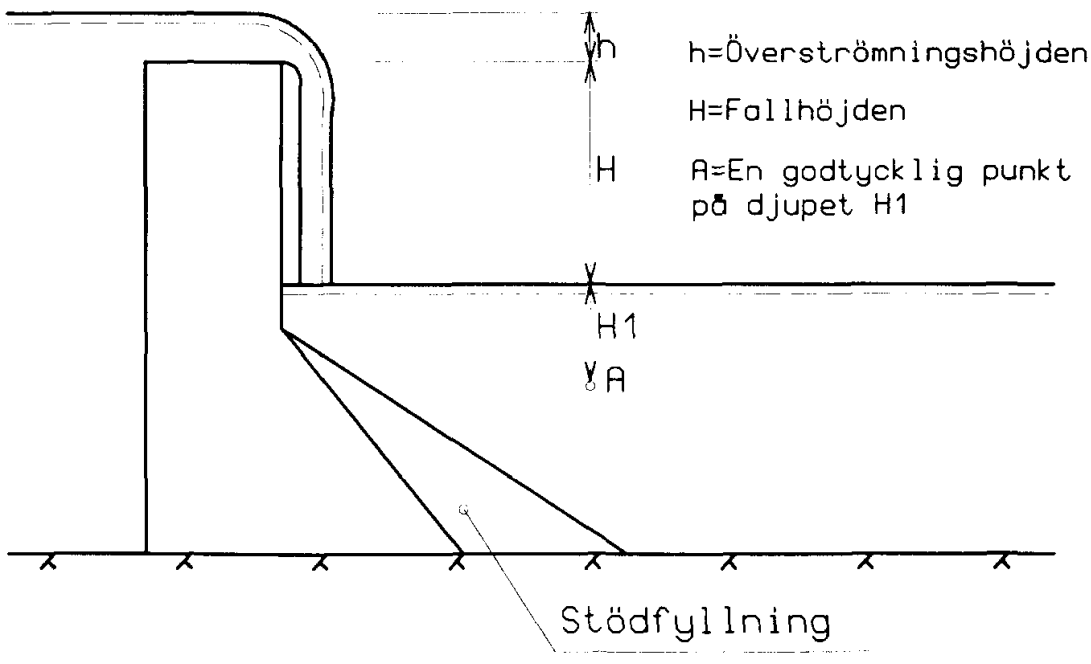
Vid överströmning av en betongdamm med stödfyllning på nedströmssidan kan i stort sett två olika fall urskiljas. I det första fallet befinner sig nedströmsvattenytan högre än stödfyllningen och i det andra fallet lägre. Eftersom erosionspåverkan är beroende av nedströmsvattenytans läge kommer dessa två olika fall att beskrivas. Undersökningen startar således med en beräkning av nedströmsvattenytans nivå utifrån antagen tappning över betongdammen.

2.2. Nedströmsvattenytan når högre än stödfyllningen

Enligt norska laboratorieförsök [2] har man konstaterat att en vattenstråle som faller fritt åstadkommer pulserande tryckstötar på underlaget och orsakar därigenom större eller mindre erosion. Om underlaget utgörs av vatten fortplantas dessa tryckstötar i olika riktningar. Vid dessa laboratorieförsök har man konstaterat att tryckimpulsernas styrka ökar med fallhöjden H och överströmningshöjden h, se figur 2.2. Däremot så minskar storleken på tryckimpulserna i t ex en punkt A under vattenytan med djupet $H1$. Tryckimpulserna är alltså störst i närheten av vattenytan, dvs där vattenstrålen träffar. Detta har man också kunnat konstatera genom erfarenheter i Norge, bl a vid Flatenfors kraftstation [3]. På grund av hög vattenföring i älven 1987 var man tvungen att avbörda över den befintliga dammen. Dammen bestod av murade stenblock och krönet av betong. Efter flödestoppen då vattnet runnit undan på nedströmssidan kunde man konstatera att stora block hade rivits loss från dammen i nivå med den tillfälliga nedströmsvattenytan. Block på upp till 2,2 ton saknades på en sträcka av 9-10 m. Vid senare laboratorieförsök i skala 1:40, kunde man bekräfta att tryckstötar upp till 5 ton/m^2 hade påverkat dammen i närheten av vattenytan med en frekvens av ca 10 stötar i sekunden. Anledningen till att block således kunde slitas loss från dammen var att det fanns

sprickor mellan blocken. Trycket fortplantade sig in i dessa varigenom blocken successivt trycktes ut.

Om det bedöms troligt att nedströmsvattenytan kommer att stå högre än stödfyllningen så kan man, med hjälp av resultaten enligt ovan [2], avgöra om förstärkning av stödfyllningen behövs



Figur 2.2. Tvärsnitt genom betongdamm. Nedströmsvattenytan högre än stödfyllningen vid överströmning.

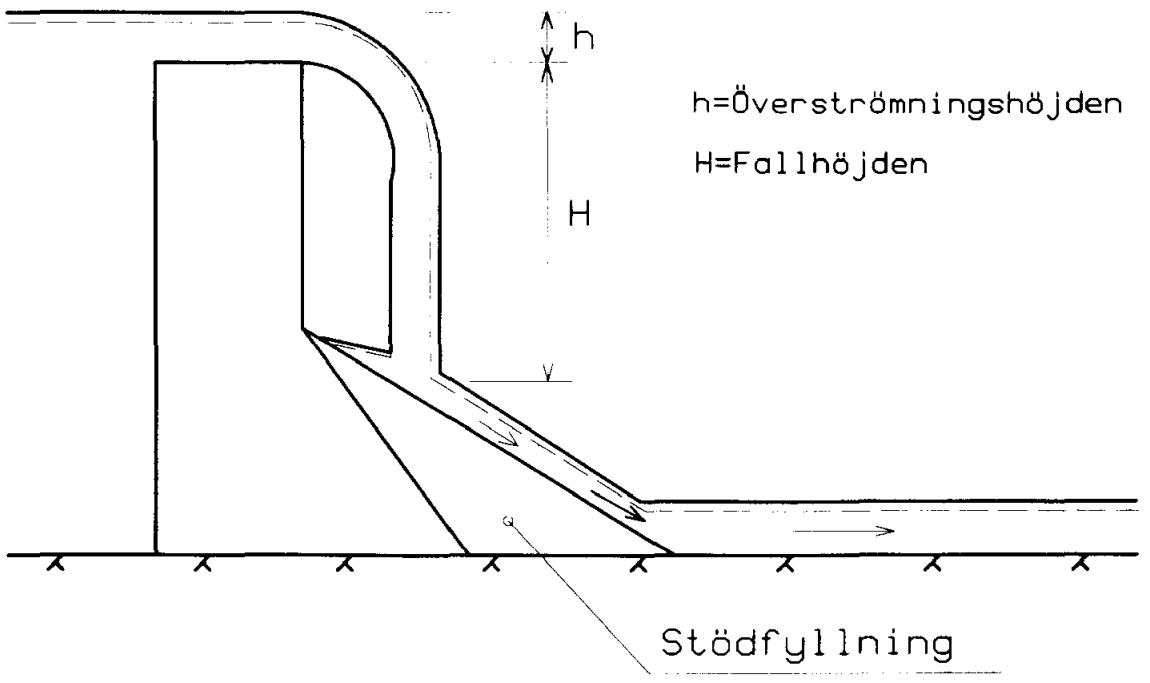
2.3. Nedströmsvattenytan på en lägre nivå än stödfyllningen

Där vattnet träffar, se figur 2.3, kommer fyllningen att utsättas för tryckstötar [2]. Vattnet avbördas sedan längs fyllningen varvid den utsätts för erosion, se avsnitt 2.3.1. Av de norska laboratorieförsöken framgår att tryckstötarna ökar med fallhöjden upp till en kritisk höjd $H_K \approx (50\text{-}100)h$, där h är överströmningshöjden. Vid fallhöjder över denna höjd bryts strålen sönder varvid vattnet sprids på en större yta med mindre tryckstötar på underlaget som följd.

Överströmningshöjden h kan beräknas då man känner avbördningen q över dammen

enligt t.ex. nedan angivna formel. $q = \frac{2}{3} \times \mu \times b \times \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{v_0^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$

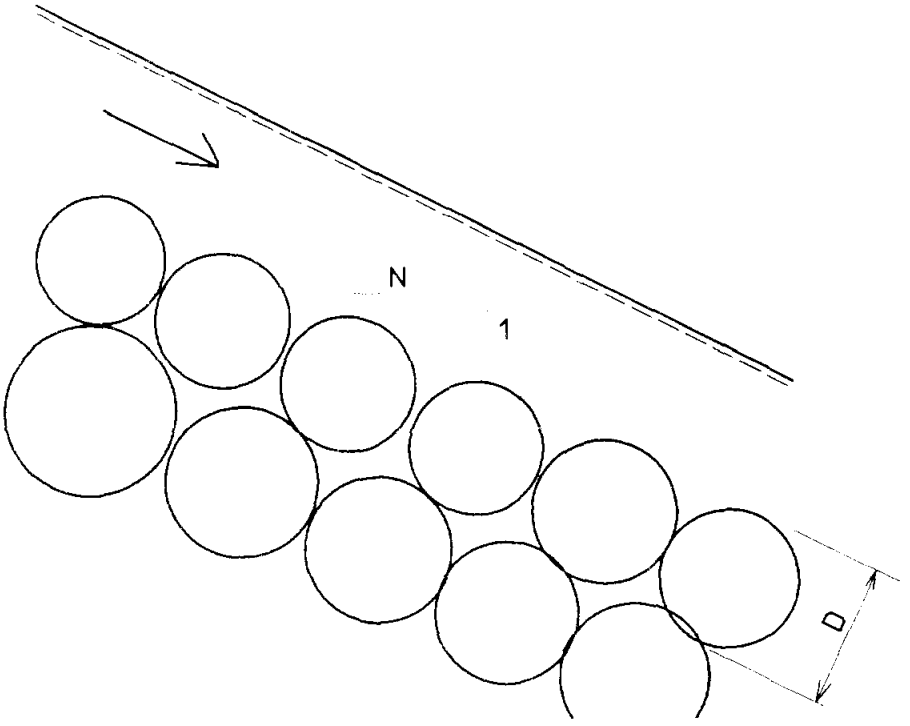
q = avbördningen(m^3/s)
b = dammens bredd(m)
h = överströmningshöjden(m)
v_0 = tillströmningshastigheten omedelbart uppströms om dammen(m/s)
μ = avbördningskoefficient, som varierar mellan 0,48 och 0,62 beroende på förhållandet mellan h och dammbredden, se [15]



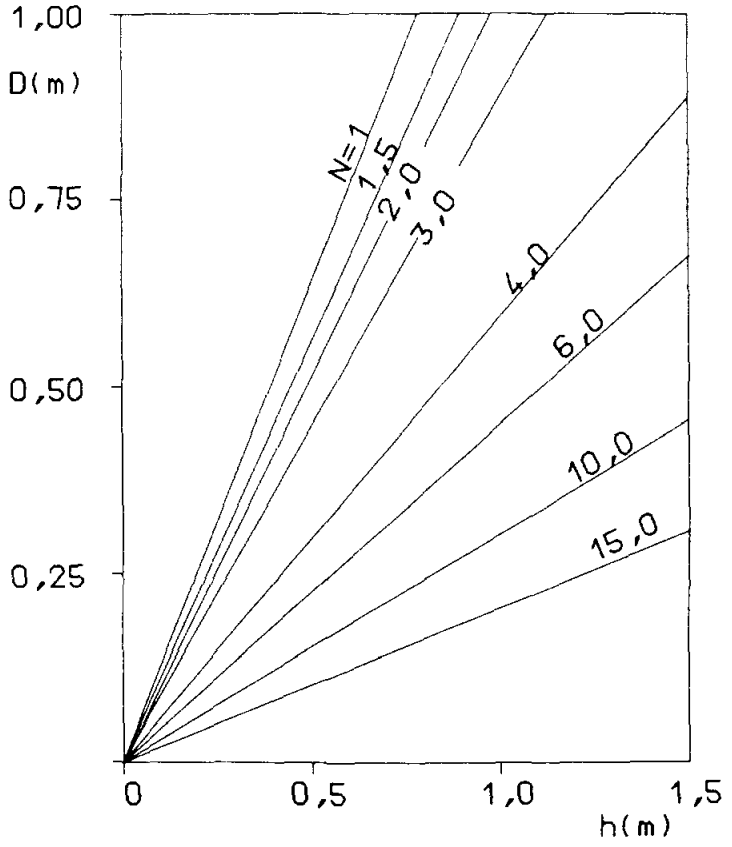
Figur 2.3. Tvärsnitt genom betongdamm. Nedströmsvattenytan lägre än stödfyllningen vid överrinning.

2.3.1. Erosion av ytlagret

Enligt ovan kommer vattnet att strömma ned över slänten. En del vatten kommer dock att tränga in i stödfyllningen vilket bidrar till att minska erosionspåverkan på materialet i ytan. För att bestämma det samband som råder mellan minsta stenstorlek och vattenföring vid en viss släntlutning utan erosion, har flera laboratorieförsök gjorts. I figur 2.3.1.a och figur 2.3.1.b visas resultatet från sådana försök. I dessa resultat har inte någon hänsyn tagits till att vatten tränger in i fyllningen vilket ju innebär att resultaten ger en extra säkerhet.



Figur 2.3.1.a. Avbördning över stödfyllning med blockdiameter D och sluttlutning 1:N.



Figur 2.3.1.b. Max. sluttlutning utan erosion som funktion av blockstorlek och överströmningshöjd. Överströmningshöjden h, se figur 2.3.

2.4. Förstärkningsåtgärder

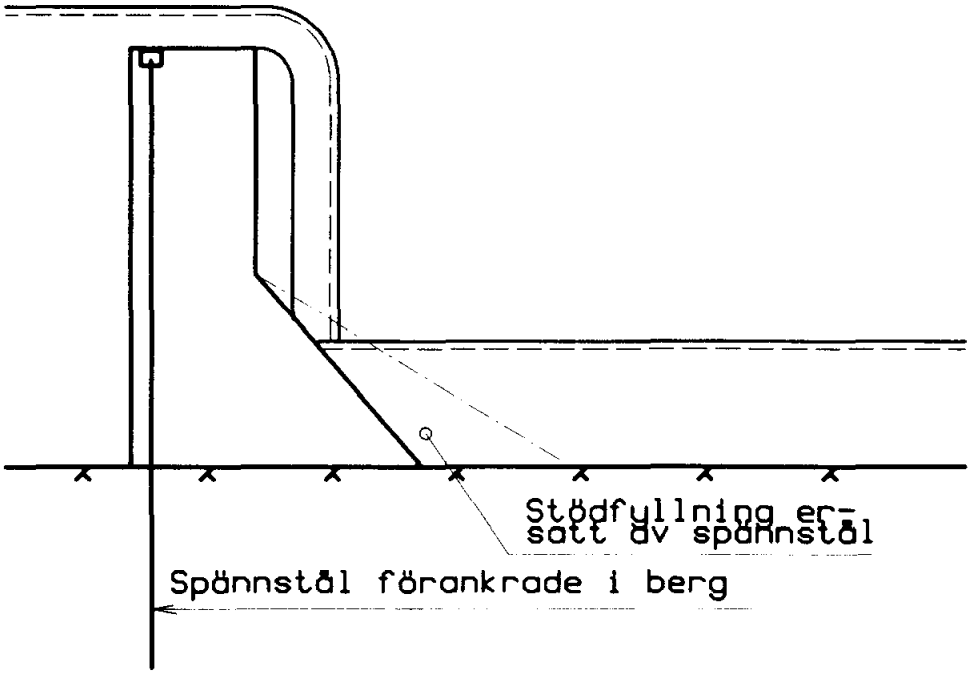
Om stabilitetsberäkningen visar att stödfyllningen inte behövs under den tid då avbördning sker över betongdammen kan dammägaren antingen välja att ändå förstärka den eller avvakta och reparera eventuella erosionsskador efteråt. Behövs däremot stödfyllningen under denna tid så måste antingen stödfyllningen förstärkas eller så kan den ersättas av spännstål i betongdammen.

2.4.1. Förstärkning med erosionsskydd

Förstärkning av stödfyllningen kan ske med erosionsskydd av naturliga och/eller av gjutna block med blockstorlek enligt vad som framkommit av avsnitt 2.3 eller avsnitt 2.3.1. Erosionsskyddet kan även utgöras av t ex av gabioner [4].

2.4.2. Förstärkning med spännstål

Ett bra alternativ till att förstärka stödfyllningen med erosionsskydd är att förankra betongdammen med spännstål, se figur 2.4.2. Vilket man väljer är sannolikt en ekonomisk fråga. Om man bedömer att det kan bli aktuellt att låta överströmning ske över dammen flera gånger under dammens livstid, kan det kanske löna sig att i stället för att reparera efter varje gång sätta spännstål, eftersom detta ju är en engångsföreteelse. Det kan vara lämpligt att utföra spännstålsförankringarna som teststål.



Figur 2.4.2. Förstärkning med spännstål.

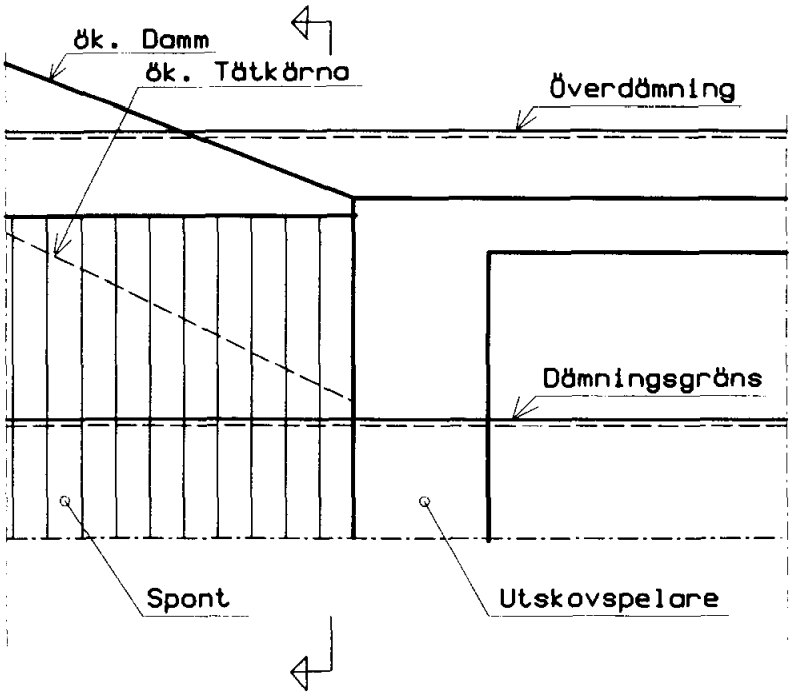
3. ANSLUTNING MELLAN BETONG- OCH JORDDAMM

3.1. Allmänt

I de flesta dammar ingår i allmänhet dammdelar som är att betrakta som betongdammar även om dammen i övrigt är av annat slag, t ex en fyllningsdamm. Vanligtvis är det i dessa sammanhang inte betongdammen utan i stället fyllningsdammen som sätter gränser för hur långt över dämningsgränsen man kan låta vattenytan stiga. Hur fyllningsdammars förmåga att klara sådan överdämning skall klarställas behandlas i rapport om tekniska möjligheter för säker överdämning mot fyllningsdammar [5].

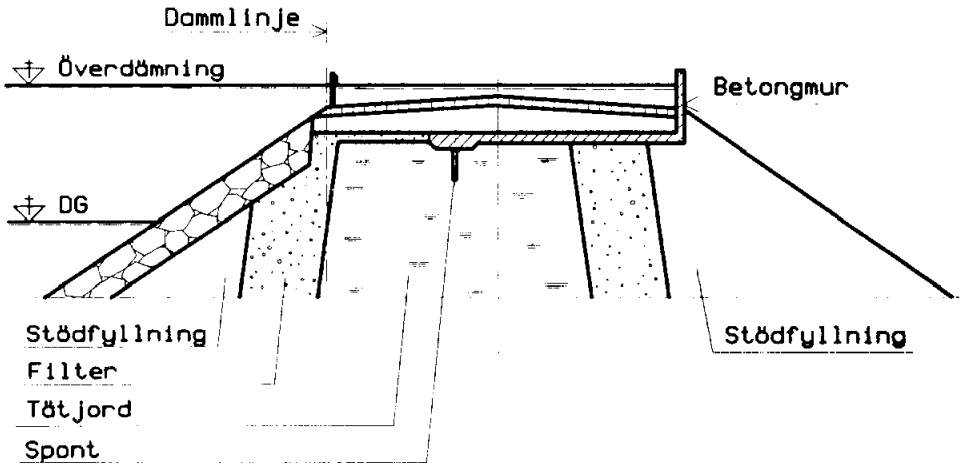
3.2. Skydd mot överströmning av fyllningsdammsanslutning

Ofta ligger jorddammens krön högre än betongkonstruktionens med en anslutande backe enligt figur 3.2.a. Vid överströmning av betongdammen måste anslutningen till jorddammen vara skyddad och fyllningsdammen måste tåla den i denna situation aktuella vattennivån.



Figur 3.2.a. Spont vid anslutning mellan jord- och betongdamm.

När det gäller att säkerställa att inte jorddammsanslutningen eroderar vid vattenstånd och flöden över betongkrönet kan detta ske genom förstärkning t ex i enlighet med figur 3.2.b eller genom att krönet och slänter som kan bli överströmmade skyddas för att klara det [5]. Våghöjder och snedställning av magasinsvattenytan beräknas enligt vad som anges i rapport om vågor och erosionsskydd för fyllningsdammar [12].



Figur 3.2.b. Förstärkning av dammens lågpunkt med betongmur.

3.3. Inre erosion

Ofta har risken för inre erosion längs betongväggen avsevärt minskats genom att en spont, som går ut en bit i tätjorden, gjutits in i betongen. Sponten som sådan kan dock ha försvårat packningen och orsakat upphängningskrafter som försvagat tätkärnan. Den aktuella situationen i varje särskild damm som kan utsättas för överströmning eller överdämning bör klarställas.

3.4. Yttre erosion

För anslutande fyllningsdammar är det också nödvändigt att man kontrollerar om stenfyllningen i nedströmsslänten har tillräckligt stor stenstorlek för att kunna motstå vattnets eroderande verkan. Ett känsligt område är dammfoten på grund av att här sker en viss energiomvandling med starka virvelrörelser som kan åstadkomma en urgröpning. Tillräckligt stora stenblock eller dylikt måste således finnas utlagda vid dammfoten så att inte nedströmssläntens stabilitet äventyras.

4. EROSION AV BERGGRUNDEN NEDSTRÖMS BETONGDAMMEN

4.1. Allmänt

Berget nedströms dammar eller utskov kan redan efter kort tid erodera om det utsätts för större vattenföringar. Vid överströmning av betongdammar kommer ofta tidigare ej exponerade bergytor att överströmmas av vattenmassor. Detta kan innebära att förstärkningsåtgärder måste göras.

Enligt norska undersökningar [2] uppstår pulserande tryckstötar i vattenfyllda sprickor i berggrunden när berget träffas av fallande vatten. Detta innebär att berget kan komma att brytas loss allt beroende på bergets sprickighet och kvalitet. Nedan beskrivs kortfattat de norska försöken.

4.2. Laboratorieförsök

Det har gjorts undersökningar om påverkan av berggrunden. Modellförsök har utförts i Norge. Försöksanordningen bestod av en uppbyggd överströmningsanordning där vattnet strömmade ut från 4 respektive 8 m höjd. Vattnet läts strömma ner i en bassäng med variabel vattennivå. I underlaget var en mätcell monterad som mätte storleken av de pulserande krafter som uppstod på grund av vattenstrålen. Vid undersökningstillfället uppmättes tryckpulser vars storlek var 6 gånger större än fallhöjden. Dessa uppmätta stora tryck kan delvis bidra till erosion av berggrunden nedströms. Nedströmsvattenytans nivå över berggrunden visade sig vara av stor betydelse. Impulskrafterna dämpades kraftigt vid ökande vattendjup.

Den fallande vattenstrålen ger pulserande stötar och kan ses som en kolv som verkar på underlaget där strålen träffar. Det ligger nära till hands att anta att det i denna vattenstråle ständigt vill finnas större eller mindre luftbubblor som i en given situation blir instängda i fördjupningar och sprickor i berget. Dessa bubblor kommer då att bli påverkade av nämnda vattenkolv. Luftbubblorna kommer i givna situationer att få tillförd energi av adiabatisk kompression och därmed hörande tryckökning.

I de fall utredningen visar att problem finns med höga tryckpulser, kan man reducera krafternas storlek genom att minska fallhöjden. Nedströmssidan på dammen kan indelas i etapper med mindre fallhöjd eller förstärkas.

Resultaten från försöken visar att uppmätta tryck minskar när nedströmsnivån ökar. Enligt uppmätta resultat gav en nivåhöjning av nedströmsvattenytan motsvarande 10% av fallhöjden en mycket god dämpning.

4.3. Erosion av berggrund

De problem som kan uppstå vid överströmning kan påverka dammen på följande sätt:

- Om berget uppluckras nära betongkonstruktionen kan undergrunden försvagas så att dammens säkerhet mot stjälpning försämras.
- Bergets förmåga att upptaga horisontalkrafter kan försämras.
- Glidning kan inträffa i underliggande slag i berget.

I sådana fall bör mera ingående beräkningar utföras för att avgöra om förstärkning med bult och betong behövs. Här kan lämpligen den utredning som E. Reinius presenterat om bergerosion på grund av överströmmande vatten tillämpas [16]. Vidare måste risken för uppdämning på grund av ansamling av lossbrutet berg beaktas. Detta kan lösas genom skrotning av sämre bergpartier som därefter bortforslas så att erforderlig area erhålles.

Det kan vidare tänkas att energiomvandlaren behöver utökas på grund av den ökade avbördningen. Detta utreds särskilt. Många energiomvandlare kan teoretiskt beräknas men i mer komplicerade fall kan modellförsök behöva utföras.

4.4. Förstärkning

Misstänker man att avbördningen vid det dimensionerande flödet kommer att kunna medföra svåra erosionsproblem på grund av sprickigt och dåligt berg kan det vara välbetänkt att förstärka berget. Ett lämpligt förslag är att gjuta en betongplatta över det dåliga partiet. Plattan bör förankras i berget och dräneras.

Figur 4.4.a och figur 4.4.b visar hur berg har ryckts loss på nedströmssidan av ett utskov där berget var sprickigt. Tappningar uppemot 1100 m^3/s som pågått under ca en veckas tid resulterade i dyra reparationskostnader för dammägaren.

Figur 4.4.a. Reparation och förstärkning nedströms utskov på grund av berg som ryckts loss.

Figur 4.4.b. Blocket på bilden ca 30 m³.

5. AVBÖRDNINGSMÖJLIGHETER PÅ NEDSTRÖMSSIDAN

5.1. Allmänt

När man undersöker möjligheten till överströmning av en betongdamm och avbördning nedströms dammen uppstår ett flertal frågor om förhållandena på nedströmssidan. Alla dessa frågor måste besvaras för att försäkra sig om att inte avbördningen orsakar allvarliga skador på anläggningen eller åstadkommer andra oacceptabla materiella skador eller personskador. Sådana frågeställningar är t ex:

- Finns trånga sektioner längs den nya vattenvägen som åstadkommer oönskade uppdämningar?
- Kan vattnet avbördas utan att skadlig erosion uppstår nedströms dammen?
- Kan vattnet ta en icke acceptabel väg?

5.2. Trånga sektioner

Längs den nya avbördningssträckan från betongdammen till befintlig älvfåra kan landskapet vara sådant att vattnet längs den nya vattenvägen måste passera någon eller flera trånga sektioner. Härvid kan vattnet dämmas upp till nivåer som man måste ta hänsyn till. En fallförlustberäkning utifrån antaget flöde och tvärsektionsareor längs den nya avbördningssträckan ger som resultat hastigheter och vattennivåer. För att ernå tillräckligt god noggrannhet bör tvärsektioner läggas tätare vid trånga sektioner. Utifrån framräknade vattenhastigheter och nivåer avgörs om något område behöver vidgas. Kriterierna härför kan vara många, t ex:

- Om vattnet når upp till nivåer som gör att avbördningen kan komma att ske längs en icke acceptabel väg.
- Om vattnet når upp till bebyggelser, erosionskänslig mark, mark som nyttjas för särskilt ändamål osv.

För att avgöra dessa frågor är det lämpligt att studera markförhållandena på plats. Rapporten om dimensionerande sektioner i vattendrag [13] behandlar dessa frågeställningar.

5.3. Åtgärder för att hindra uppkomsten av skadlig erosion

En del betongdammar är mycket långa vilket medför att avbördningen kommer att ske över en stor bredd och sannolikt då över mark som tidigare aldrig utsatts för avbördning. Härvid uppstår flera frågor såsom:

- Kommer marken att klara den erosion den kan komma att utsättas för?
- Behöver någon avverkning göras av befintliga träd och buskar för att hindra att dessa vid en framtida avbördning rycks loss med risk för igensättning av nedanförliggande utskov?

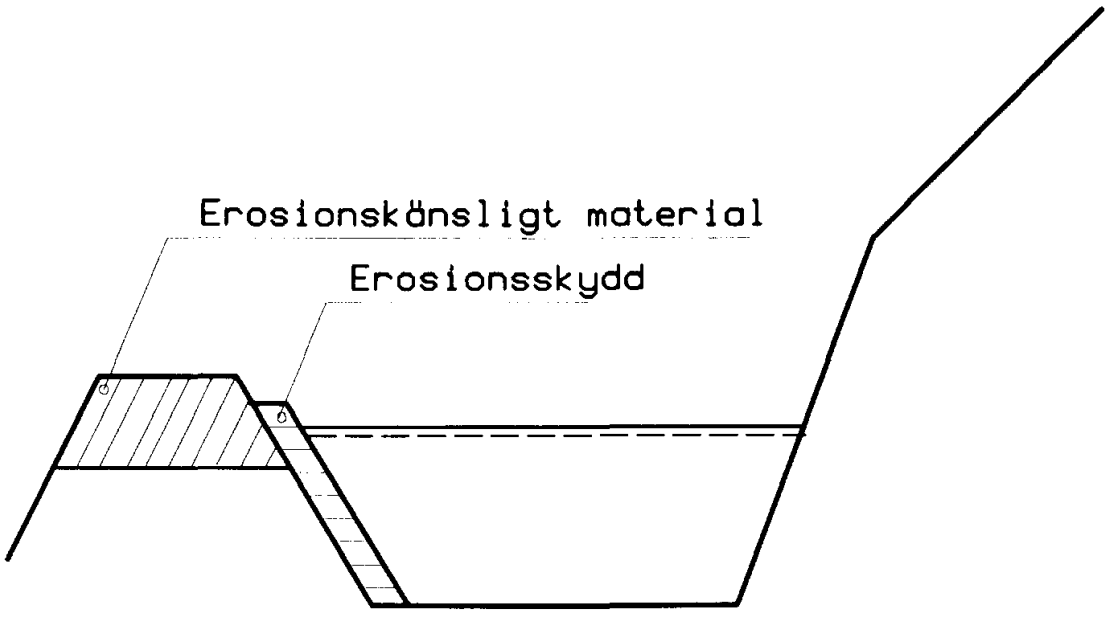
Noggrant studium på plats är därför nödvändigt för att få svar på dessa frågor. Dessutom bör jordprover tas samt sondborrning utföras för att avgöra markens erosionskänslighet även på djupet.

Vid bortschaktning av massor för att vidga trånga sektioner kan det vara nödvändigt att förse både massupplaget och den nya strömfåran med erosionsskydd.

5.4. Ny strömfåra

Om en ny strömfåra kommer att uppstå kan bedömas först efter att fallförlustberäkningen har utförts och vattennivåerna är kända. Detta kan antingen avgöras på plats eller med hjälp av de uppritade tvärsektionerna, förutsatt att dessa är tillräckligt utförligt uppritade.

Även om vattnet inte når sådan höjd att en ny fåra skulle uppstå på en gång så kan efter en tid en ny strömfåra bildas om strandmaterialet är tillräckligt erosionskänsligt, se figur 5.4. Huruvida detta är acceptabelt eller inte måste avgöras från fall till fall.



Figur 5.4. Erosionsskydd för att förhindra att en ny strömfåra uppstår. Högsta beräknad vattenyta visad.

5.5. Isdämmor

Man måste vara observant på att avbördad is över betongdammen inte åstadkommer några isdämmor på nedströmssidan. Isdämmor kan ju i sin tur höja nedströmsvattenytan till en nivå som inte är önskvärd.

6. FÖRÄNDRING AV STABILITETEN

6.1. Allmänt

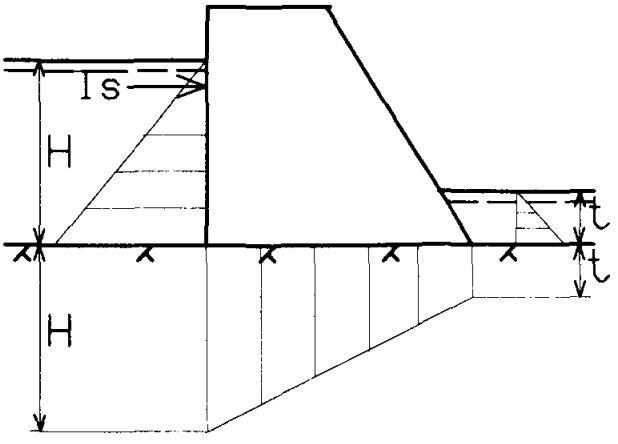
I samband med att dammägaren undersöker möjligheten att vid det dimensionerande flödet enligt Flödeskommitténs riktlinjer låta vattenytan stiga över krönet på en betongdamm och låta en del av älvens vatten avbördas över dammen, måste en kontroll av stabiliteten göras. Ett nytt belastningsfall blir följden av denna åtgärd. En del belastningar kommer att öka och vissa andra kommer att minska och därutöver kommer en del nya laster att uppstå. Dessa förändringar gäller såväl stabiliserande som stjälpande belastningar.

6.2. Belastningar vid nuvarande förhållanden

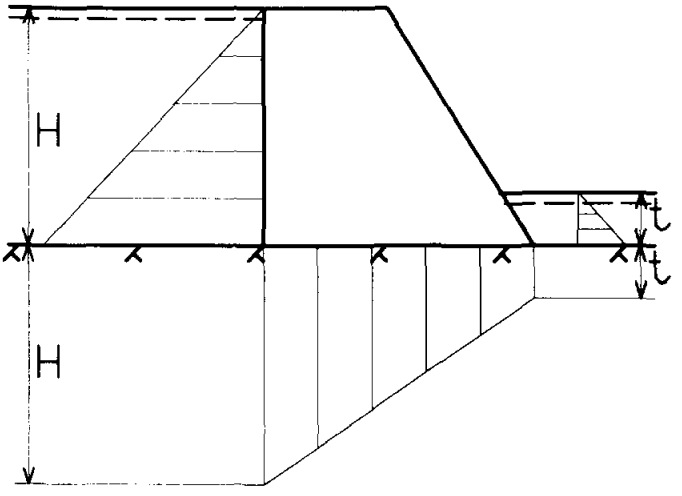
6.2.1. Betongdammar

Betongdammars stabilitet är beräknade för de belastningar som påverkar dammen [7] och [9]. Huvudsakligen utgörs dessa belastningar av vattentryck från uppströms- och nedströmssidan, upptryck, egenvikt, istryck, jordtryck samt trafiklast. Vid normalt belastningsfall antas vattenytan på uppströmssidan nå upp till dämningsgränsen (DG), varvid horisontellt istryck antas förekomma samtidigt, se figur 6.2.1.a. Vid exceptionellt belastningsfall antas uppströms vattenyta nå upp till dammkrönet eller till tätkärnans lägsta punkt, där en anslutande fyllningsdamm finns. Något horisontellt istryck antas ej förekomma. Däremot kan lyftkrafter (från fastfrusen is) uppstå i samband med vattenytans höjning [8].

Även om det inte tycks vara något problem med att innehålla stjälpningskriteriet, så rekommenderas att det ändock kontrolleras. Upptrycket under dammen antas variera rätlinjigt från 100% av vattentrycket på uppströmssidan till 100% av vattentrycket på nedströmssidan, se figur 6.2.1.b.



Figur 6.2.1.a. Normalt belastningsfall.



Figur 6.2.1.b. Exceptionellt belastningsfall.

6.2.2. Utskov

Vid stabilisering av utskov studeras belastningar av vattentrycket på uppströmssidan och i förekommande fall vattentryck på nedströmssidan. Vid normalt belastningsfall befinner sig uppströmsvattenytan vid dämningsgränsen (DG). Därtill tillkommer islast. Normalt är inte utskovsluckor dimensionerade för stora islaster varför isen tänks slå valv mellan utskovspelarna. Vid exceptionellt belastningsfall befinner sig uppströms vattenyta vid dammkrön (pelartopp). Någon islast har ej medräknats. Upptrycket antas variera rätlinjigt från 100% av vattentrycket på uppströmssidan till 100% av vattentrycket på nedströmssidan.

6.3. Belastningar vid överströmning av dammanläggningar

6.3.1. Uppströms horisontellt vattentryck

Denna belastning kommer approximativt att öka per längdmeter damm från

$$\frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma$$

till

$$\frac{1}{2} \times H1^2 \times \gamma - \frac{1}{2} \times h^2 \times \gamma, \text{ se figur 6.3.3}$$

γ = vattnets tunghet 10 kN/m^3

6.3.2. Nedströms horisontellt vattentryck

Om beräkningarna visar att nedströmsvattenytan kommer att höjas från t till $t1$ så kommer vattentrycket på motsvarande sätt som ovan att öka från

$$\frac{1}{2} \times t^2 \times \gamma$$

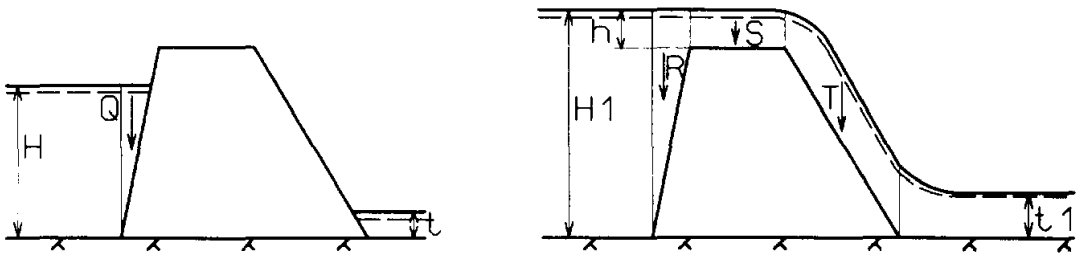
till

$$\frac{1}{2} \times t1^2 \times \gamma, \text{ se figur 6.3.3.}$$

6.3.3. Vertikala vattenlaster

Det tillkommer två nya vertikala laster, nämligen vattenlasten S över dammkrönet, samt vattenlasten T över dammens nedströmssida. Observera att T tillkommer endast om

vattnet trycker mot nedströmssidan. Speciell utredning bör göras om denna kraft. Om dammens uppströmssida lutar kommer dessutom lasten Q att öka till R, se figur 6.3.3.



Figur 6.3.3. Nya och förändrade belastningar vid överströmning.

6.3.4. Egenvikt

Egenvikten av betongen eller utskovsluckorna mm påverkas ej av överrinningen.

6.3.5. Upptryck

Upptrycket kommer inte att nämnvärt förändras i samband med överströmning av dammen, se dock villkor 1 i avsnitt 6.4. Den främsta anledningen är att det oftast tar lång tid innan de nya vattennivåerna kan påverka befintliga upptryck. Detta gäller framför allt om det finns en injekteringsskärm i dammens uppströmskant. Någon generell regel går dock ej att ge utan upptrycket måste avgöras från fall till fall. Vid denna bedömning studerar man främst de geologiska förhållandena, dränagemöjligheterna i dammen (gallerier, dränagehål etc), eventuell utförd injektering samt vad eventuella befintliga upptrycksmätare visar i förhållande till aktuella vattennivåer.

6.3.6. Islast

Någon islast behöver man inte räkna med. Befintlig is kommer sannolikt att brytas upp i samband med vattenhöjningen. Därefter kommer isflaken att avbördas över betongdammen. Däremot åstadkommer vattenståndshöjningen en lyftkraft på isen som överförs till dammen om isen är fastfrusen och dammens uppströmssida är vertikal. Enligt B. Löfquist är den vertikala lyftkraften en funktion av istjocklek och vattenståndshöjning [8].

6.3.7. Jordtryck

Eventuell stödfyllning på nedströmssidan kan erodera beroende på avbördningens storlek och varaktighet över dammen. För att vara på den säkra sidan bör man därför utgå från att stödfyllningen eroderar så mycket att dess stödjande funktion praktiskt taget är försumbar. På det viset tillgodoräknar man sig inte någon osäker stabiliserande kraft. Efter särskild utredning kan kanske stabiliserande kraft få tillgodoräknas.

6.3.8. Trafiklast

Någon trafiklast är det normalt inte aktuellt att ta hänsyn till i samband med att vattnet avbördas över dammkrönet.

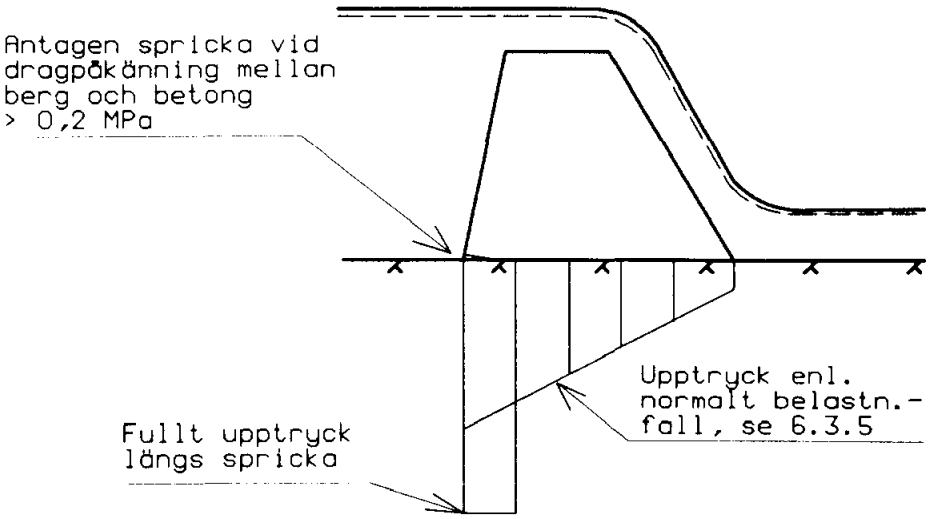
6.4. Stabilitetsberäkning

Obs! Överströmning betraktas som exceptionellt belastningsfall.

Efter att samtliga laster har identifierats och beräknats, görs en stabilitetsberäkning varvid följande villkor ska vara uppfyllda:

1. Dammen får inte stjälpa.
2. Dammen får inte glida på undergrunden.
3. Betongens eller undergrundens hållfasthet får inte överskridas.

Villkor 1:
Detta innebär vid exceptionellt belastningsfall att resultanten till alla verkande krafter skall falla inom de tre mellersta femtedelarna av betongdammens basbredd. Detta kan resultera i att dragpåkänning uppstår mellan berg och betong i dammens uppströmskant. Där dragpåkänningen överskrider 0,2 MPa antas en spricka ha uppkommit. Längs sprickan räknas med fullt upptryck motsvarande 100% av vattentrycket på uppströmssidan som en första ansats i ett iterativt förfarande med ett à två steg, se figur 6.4.



Figur 6.4. Upptryck under betongdamm med spricka mellan berg och betong.

Villkor 2:

Villkoret är uppfyllt om friktionskraften är så pass stor att den förhindrar glidning. Kravet på säkerhet mot glidning kan då skrivas:

$$\frac{R_H}{R_V} \leq \frac{tg_g}{s_g}$$

R_V = summan av de vertikala lasterna
R_H = summan av de horisontella krafterna

$tg\delta_g$ = brottvärdet för friktionskoefficienten mellan bottenplattan och grunden

s_g = säkerhetsfaktorn

Vid grundläggning på berg, vilket normalt är en förutsättning för att tillåta överströmning av en betongdamm, rekommenderas följande:

$tg\delta_g = 1$

$s_g = 1{,}05$

Obs! Glidstabilitet skall inte bara föreligga i kontaktytan mellan berget och betongen utan även i underliggande berg. En kartering av bergets slag- och sprickriktning i förhållande till resultantens riktning utförs med hjälp av borrkärnor uttagna med kärnborrning. Finns slag eller krosszoner? Är de horisontella eller lutande? Vad består materialet av i eventuella slag och krosszoner? Allt detta måste bestämmas för att en stabilitetsberäkning ska kunna genomföras för ett snitt genom slagen.

I samband med stabilitetshöjande åtgärder med spännstål, bör därför kärnborrningen genom betongen även fortsätta ner i berget till fullt djup för vissa av spännstålen. Kärnorna karteras därefter.

Villkor 3:

Undergrunden kontolleras för de tryckspänningar och skärspänningar den blir utsatt för så att dessa inte ger upphov till brott. Tillåtna påkänningar bedöms från fall till fall. Betongen kontrolleras på motsvarande sätt. Vid beräkning av det maximala trycket mot grunden kan, eftersom dammen betraktas som en stel kropp, Naviers ekvation användas.

$$\sigma = \frac{R_V}{A} \pm \frac{M}{W}; \quad R_V \perp \text{glidplanet.}$$

7. HÅLLFASTHETSFRÅGOR

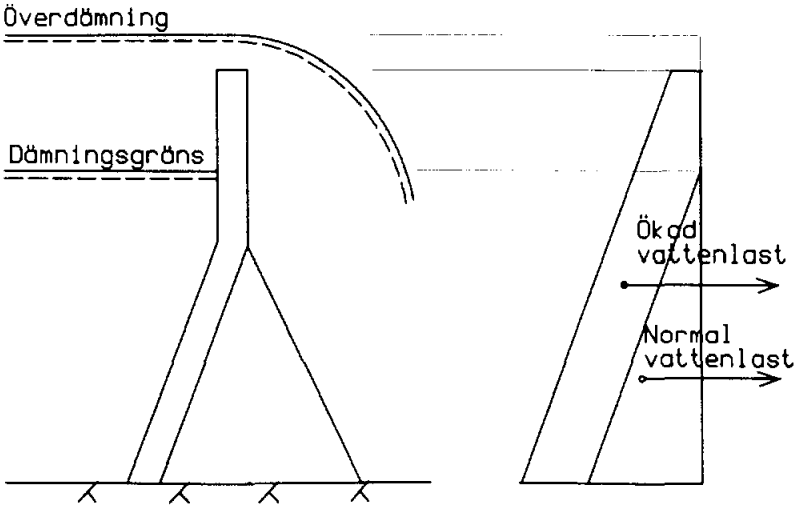
7.1. Allmänt

I samband med överströmning av betongdammar måste man försäkra sig om att belastningarna inte orsakar att tillåtna påkänningar överskrids. Nedan kommer några typer av belastningar att behandlas och hur man kan gå till väga för att avgöra om konstruktionen måste förstärkas eller inte.

7.2. Ökad vattenlast

Många konstruktionsdelar är normalt utsatta för eller beräknade för ständig vattenlast. Ofta är dessa konstruktioner kraftigt armerade. Ett nytt belastningsfall uppstår när tidigare förutsatta vattennivåer överskrids, se figur 7.2. Konstruktionen ska då i första hand kontrollberäknas för att se att påkänningarna på grund av de nya belastningarna inte överskrider tillåtna påkänningar.

Skulle det visa sig att tillåtna påkänningar överskrids bör en kontrollmätning av konstruktionens verkliga mått göras innan man vidtar några förstärkningsåtgärder. Det kan nämligen vara så att den befintliga konstruktionen innehåller andra dimensioner än de teoretiska som anges på ritningen. Detta kan särskilt vara fallet vid motgjutningar mot berg. Man bör även göra en noggrannare kontrollberäkning, t ex med finit elementmetod, för att om möjligt se om konstruktionen innehåller några reserver beträffande bärförmågan. Om man även efter dessa undersökningar finner att tillåtna påkänningar överskrids, måste konstruktionen förstärkas. Förstärkningen bör då baseras på de bestämmelser som gällde vid konstruktionens tillkomst ifall förstärkningen endast innebär måttliga förändringar av konstruktionen. I annat fall tillämpas aktuella bestämmelser.

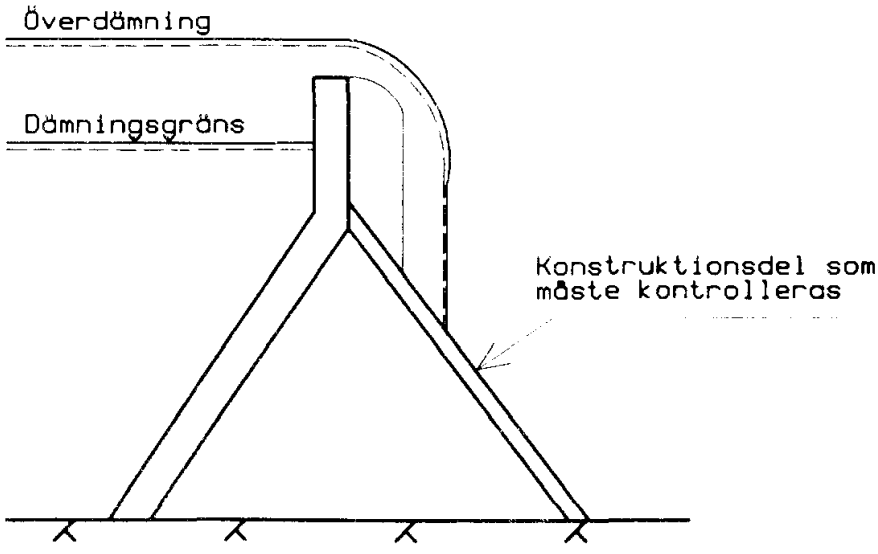


Figur 7.2. Sektion genom lamelldamm.

7.3. Tillkommande belastning

I konstruktionen kan finnas konstruktionsdelar, som normalt saknar vattenlast men under ett överströmningsskede skulle utsättas för kraftigt ökad belastning, se figur 7.3. Detta problem kan lösas på olika sätt. Man bör till att börja med undersöka om aktuell konstruktionsdel kan tillåtas haverera. Om inte, måste de uppkomna spänningarna kontrollberäknas med avseende på de nya lasterna. Förstärkning kan i så fall bli nödvändigt, se även 7.2.

Naturligtvis måste i alla sådana här sammanhang även hänsyn tas till betongkonstruktionens allmänna status såsom sprickor med rostutfällning som antyder att armeringen är utsatt för korrosion, kalkurlakning som påverkat hållfastheten ävensom betongytors kvalitet med hänsyn till kavitation. Dessa frågor tas upp i rapport om betongdammars tillståndskontroll [14].



Figur 7.3. Sektion genom lamelldamm.

7.4. Belastning på övrig utrustning

I samband med överdämning/-överströmning kan annan utrustning ta skada, exempelvis elektriska kablar, motorer, mekaniska lyftanordningar, lager mm. Dessa problem kan lösas genom systematisk genomgång av det elektriska och mekaniska systemet. Kärvning i lager och lyftanordningar till följd av deformationer av betongkonstruktionen kan till viss del utredas och beräknas. Problem kan i många fall lösas genom smärre ombyggnader som gör att utrustningen hamnar på en mer skyddad plats.

8. SLUTSATSER

Utöver vad som anges i Flödeskommitténs riktlinjer [1] angående överströmning av betongdamm utan risk bör nedanstående utredas och beaktas:

- **Erosionsrisk nedströms dammen.**
  Det är väsentligt att man inhämtar kunskap om geologin på dammens nedströmssida. Vid dåligt och sprickigt berg kan det vara nödvändigt att man förstärker berget med betongpågjutningar som förankras och dräneras.

- **Avbördningsmöjligheter på nedströmssidan.**
  Erforderlig höjd på erosionsskydden kan avgöras först efter att en fallförlustberäkning utförts vilken visar vattennivåerna.

- **Anslutningar till jorddammar.**
  Särskilt studium av anslutningen till befintlig fyllningsdamm måste göras eftersom detta är ett känsligt område som lätt kan erodera vid överströmning om inte nödvändiga åtgärder vidtas.

- **Dammens stabilitet.**
  Det är även nödvändigt att kontrollera dammens stabilitet med de nya belastningar som uppstår vid överströmning för att försäkra sig om att dammen inte brister.

- **Nytt belastningsfall.**
  Eftersom de högre vattenstånden innebär större belastning på dammen bör man kontrollera de ställen som får en ökad påkänning. För att noggrannare kunna beräkna omfattningen av eventuella förstärkningsåtgärder kan man utföra kontrollmätning av konstruktionen för att vid beräkningen kunna använda korrekta ingångsdata.

ANTECKNINGAR

9. REFERENSER

[1] *Riktlinjer för dimensionerande flöden för dammanläggningar.* Slutrapport från Flödeskommittén. Stockholm i maj 1990.

[2] NHL: *Tryckkpulseringer under en fallende vannstråle relatert til fjellerosion under overlop.*

[3]Vassdragsregulantenes Forening: *Tiltak på gamle dammer, bevare estetikk og funksion.* Rein Thorstensen, 1989.

[4] Handboken Bygg: *Geoteknik. Erosion och erosionsskydd.*1984.

[5] *Tekniska möjligheter till säker överdämning mot fyllningsdammar.* VASO-projekt 1994.

[6] *Safe Remedies for Leaking Embankment Dams.* Ö Solvik, ICOLD Q52, R78, Rio de Janeiro, 1982.

[7] Vattenbyggnad Del 3: *Dammar.* Erling Reinius, Stockholm 1962.

[8] Löfquist, B: *Lyftkraft och bärförmåga hos ett istäcke.* Teknisk Tidskrift, h25, 1944.

[9] Vattenfall AB: *Stabilitetsanvisningar för betongdammar.* 1993.

[10] *Jord-och Stenfyllningsdammar.* Vattenfall 1988.

[11] Handboken Bygg: *Väg och Vattenbyggnader. Vågbrytare och strandskoningar.* 1985.

[12] *Vågor och erosionsskydd för fyllningsdammar.* VASO-projekt 1994.

[13] *Dimensionerande sektioner i vattendrag.* VASO-projekt 1994.

[14] *Betongdammars tillståndskontroll.* VASO-projekt 1995.

[15] Handboken Bygg: *Väg och Vattenbyggnader. Hydraulik.*

[16] E. Reinius. *Rock erosion.* Water Power & Dam Construction. June 1986.

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

Liksom i många andra länder har vi i Sverige omvärderat tidigare metoder att bestämma dimensionerande flöden till dammanläggningar. Kraftindustrin och SMHI har genom arbetet i Flödeskommittén enats om nya riktlinjer för denna dimensionering. Riktlinjerna innebär i vissa delar ett nytt synsätt.

De nya riktlinjerna medför att högre tillflöden än vad som tidigare antagits skall kunna hanteras. Tillämpningen av dessa riktlinjer kommer i flera fall att innebära att olika typer av åtgärder behöver vidtagas. Om dessa åtgärder och kombinationer av åtgärder inte planeras och genomförs omsorgsfullt och kompetent kan stora ekonomiska resurser förspillas utan att eftersträvad säkerhetshöjning uppnås.

För att klara denna komplicerade anpassningsprocess krävs kompetens och kunskap inom bland annat följande områden: hydrologi, teknik (bl a verklig avbördningsförmåga, teknisk förmåga att klara överdämning, luckors funktionssäkerhet och tillståndskontroll av dammar), säker driftsamverkan, brottkonsekvenser och beredskap samt riskanalys.

För att genomföra utredningar och utveckling inom dessa områden har VASO dammkommitté initierat ett antal projekt och föreliggande rapport redovisar ett av dem. Seriens huvudrapport (nr 1) ger en sammanfattande beskrivning av arbetet och innehåller även en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Rapporter kan beställas från:
ELFORSK
101 53 STOCKHOLM
Telefon: 08 - 677 25 30
Telefax: 08 - 677 25 35