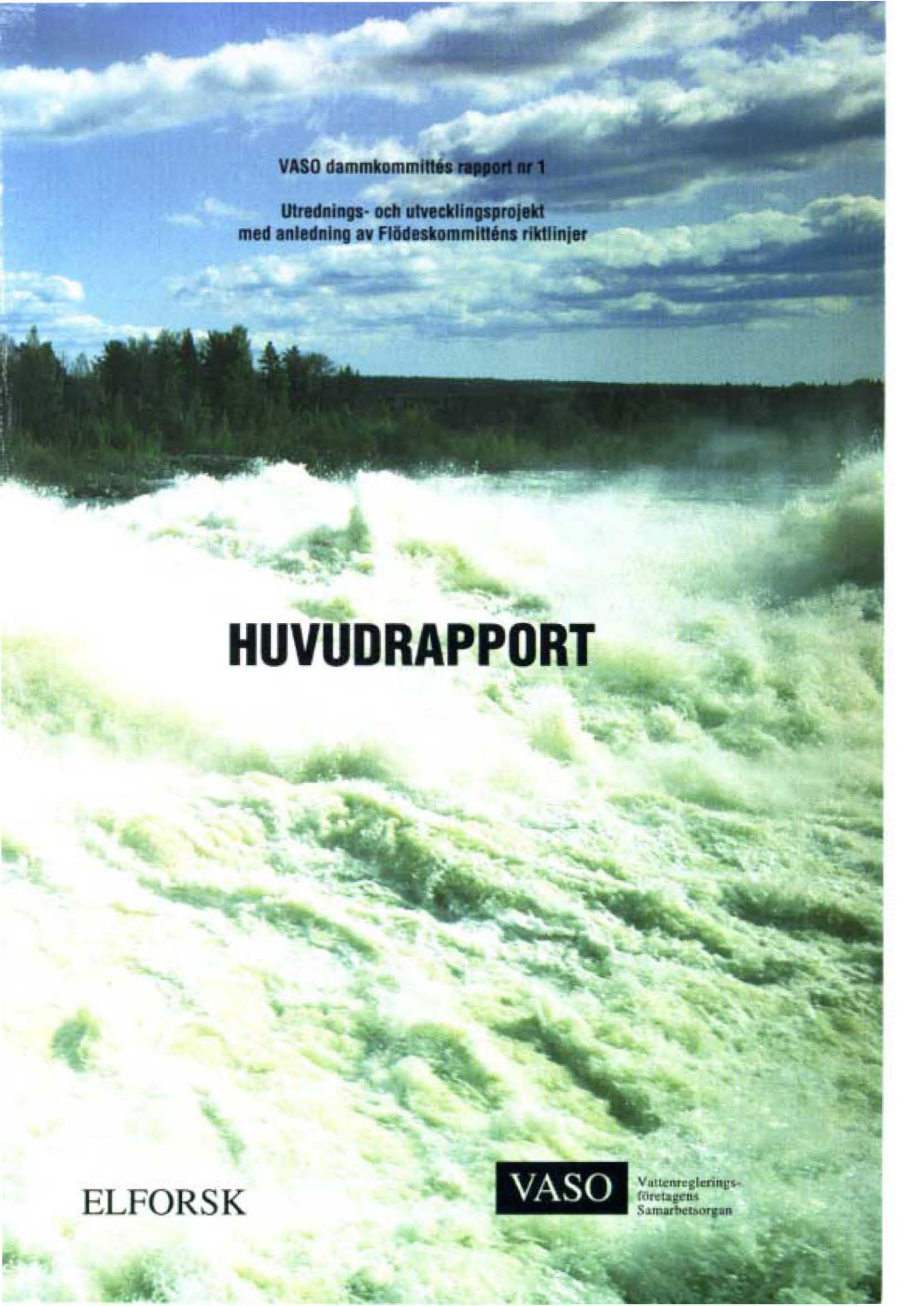




VASO dammkommittés rapport nr 1

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

HUVUDRAPPORT

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 1

**Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer**

HUVUDRAPPORT

Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft

Omslagsfoto: Bengt Johansson, Vattenfall
Grafisk form: Fras&Form
Tryck: Spånga Tryckeri AB 1998
ISSN 1400-7827

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	iii
SUMMARY	v
1. Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöden	1
1.1. Allmänt	1
1.2. Dammar i Sverige	2
1.3. Orsaker till dammbrott	2
1.4. Flödeskommitténs arbete	3
1.4.1 Riskklassindelning	4
1.4.2. Dimensionerande flöde	4
1.4.3. Tilläggsbeslut till Flödeskommitténs riktlinjer	5
1.4.4. Återkomsttid	6
1.4.5. Felkällor i beräkningar av återkomsttider	7
2. Arbetsgång vid implementering av Flödeskommitténs riktlinjer	9
2.1. Allmänt	9
2.2. Älvvisa dimensioneringsgrupper	10
2.3. Dimensioneringsmetodik	10
2.4. Strategimodellen QS	11
2.5. Juridiska och ekonomiska aspekter	11
3. Utredningar om flödesdimensionering av ett älvsystem	13
3.1. Allmänt	13
3.2. Dimensionerande sektioner i vattendrag	13
3.2.1. Påverkan på riskklass	13
3.2.2. Påverkan på dimensionering	14
3.3. Skred i nipor	17
3.4. Dämpning av flöden	19
3.5. Flödesdämpning under anpassningsskedet	21
3.6. Dammbrotts- och konsekvensberäkningar	21
3.6.1. Dammbrottsförloppet	21
3.6.2. Flodvågsberäkningar	22
3.6.3. Konsekvensberäkningar	22
3.6.4. Drivgoods vid dammar	23
4. Utredningar om fyllningsdammar	31
4.1. Allmänt	31
4.2. Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning	31
4.3. Inverkan av vågor	33
4.4. Vågor i vattenkraftmagasin	33
4.5. Erosionsskydd av uppströmsslänt	34
4.6. Överspolning av dammkrön	37
4.7. Inverkan av överdämning	38
4.8. Erosion i tät kärnans krön	39
4.9. Stenfyllningsdammar vid genomströmning	40
4.10. Filter i fyllningsdammar	41
4.11. Åldersförändringar i fyllningsdammar	44

5.	Utredningar om betongdammar	47
5.1.	Allmänt	47
5.2.	Betongdammars förmåga att tåla överrinning	47
6.	Utredningar om avbördningssystemet	49
6.1.	Allmänt	49
6.2.	Verklig avbördningskapacitet	52
6.3.	Utskovsluckors funktionssäkerhet	56
6.4.	Fuseplug som hjälputslov vid befintliga svenska dammar	59
6.5.	Avbördning genom turbin	60
7.	Utredningar om tillståndskontroll av fyllningsdammar	63
7.1.	Allmänt	63
7.2.	Beprövade metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar	64
7.3.	Nyare metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar	66
7.4.	Isotopanalys av läckvatten från dammar	69
7.5.	Övervakning av tåtkärnans funktion genom mätning av självpotential och resistivitet	69
7.6.	Övervakning av tåtkärnans funktion genom analys av resistivitetsvariationer	72
8.	Utredningar om tillståndskontroll av betongdammar	75
8.1.	Allmänt	75
8.2.	Tillståndskontroll av betong i vattenkraftanläggningar	75
9.	Utredningar om riskanalys m m	81
9.1.	Allmänt	81
9.2.	Riskanalys i dammsäkerhetsarbetet	81
9.3.	Incidentrapportering	84
10.	Forskning och utveckling inom dammsäkerhetsområdet	85
11.	Slutsatser och rekommendationer	87
12.	Referenser	89
12.1.	VASO dammkommittés utrednings- och utvecklingsprojekt	89
12.2.	Övriga referenser	91
	Bilagor	93

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 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 denna huvudrapport, som utgör sammanfattande rapport över hela arbetet och även innehåller en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Syftet med huvudrapporten är att ge en beskrivning av bakgrunden till rapportserien och behovet av de ingående utrednings- och utvecklingsprojekten, att ge en samlad bild av de rapporter som ingår i serien och att redovisa viktigare slutsatser och rekommendationer. Därtill kommenteras några studier som inte föranlett särskilda rapporter. Av naturliga skäl kan huvudrapporten endast ge en översiktlig bild av innehållet av respektive rapport, varför den som vill tränga djupare in i frågorna bör studera respektive rapport.

Huvudrapporten har utarbetats av Malte Cederström – Vattenfall Vattenkraft med Harald Eriksson – Sydkraft, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen och Urban Norstedt – Vattenfall Vattenkraft som styrgrupp.

Avslutningsvis vill vi betona vikten av att arbetet med anpassning till de nya riktlinjerna genomförs på ett ansvarsfullt och kompetent sätt för att den höjning av dammsäkerhetsnivån som Flödeskommitténs arbete syftar till verkligen skall uppnås. Vår förhoppning är att det genomförda utvecklingsprogrammet skall bidra till detta.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

Liksom i många andra länder har vi i Sverige omvärderat tidigare metoder för att bestämma dimensionerande flöden till dammanläggningar. Kraftindustrin och SMHI har i Flödeskommitténs riktlinjer enats om nya riktlinjer för denna dimensionering, vilka i vissa delar innebär ett nytt synsätt. De nya riktlinjerna medför att högre tillflöden än vad som tidigare antagits skall kunna hanteras och av denna anledning kommer i flera fall olika typer av åtgärder att behöva vidtagas.

För att klara denna komplicerade anpassningsprocess så att eftersträvad säkerhetshöjning uppnås på ett tekniskt/ekonomiskt optimalt sätt, har 24 utrednings- och utvecklingsprojekt genomförts, vilka presenteras i föreliggande rapportserie.

Avsikten med denna huvudrapport är att ge en överblick över innehållet i Flödeskommitténs riktlinjer och arbetsgången vid implementeringen av dessa, att presentera bakgrund till och innehåll i de genomförda utredningarna samt kortfattat ge viktigare slutsatser och rekommendationer. Därutöver redovisas i huvudrapporten resultat av några mindre studier, vilka inte presenteras i rapportform.

Idag räknar man med att det i Sverige finns mer än 10 000 dammar, varav ca 1 000 för vattenkraftändamål. Ca 200 av dessa klassificeras som höga dammar, dvs är högre än 15 m. Allmänt kan sägas att mycket få dammbrott förekommit i Sverige.

Flödeskommitténs riktlinjer utkom år 1990 och skall tillämpas av den svenska vattenkraftindustrin. Riktlinjernas dimensionerande flöde bygger på en konsekvensklassindelning av dammarna, det vill säga på den skada som ett tänkt dammbrott skulle kunna åstadkomma, men behandlar däremot inte sannolikheten för att brott skall inträffa. Dammarna indelas i två "riskklasser" för vilka det dimensionerande flödet beräknas på olika sätt, men därtill finns ett stort antal dammar som inte tillhör någon av dessa och därmed inte berörs av riktlinjerna.

Arbetsgången vid implementeringen av riktlinjerna är relativt komplicerad, speciellt som målet är att finna den tekniskt/ekonomiskt optimala lösningen. Detta innebär att dimensioneringen bör ske för ett helt älvsystem. Dimensioneringen innebär att beräkna dimensionerande flöden och om det dimensionerande flödet inte kan klaras utan åtgärder eller genom tillfällig överdämning och dämpning måste ombyggnadsåtgärder tillgripas för att öka avbördningskapaciteten, t ex byggande av nya utskov. Alternativt kan dämpningen av flödet ökas genom att dammen höjs för att möjliggöra en ökad tillfällig överdämning. Arbetet med att finna den optimala lösningen inleds med att den överst belägna dammen dimensioneras preliminärt och eventuellt åtgärdsbehov noteras. Därefter dimensioneras nästa damm, varvid denna kan påverka dimensioneringen av den ovanliggande. På detta sätt genomförs beräkningarna successivt för hela älven. För att finna den tekniskt/ekonomiskt optimala lösningen kostnadsberäknas de olika alternativ som framkommit och jämförs även i övrigt vad gäller för- och nackdelar. Ett optimeringsprogram har tagits fram för att även vid komplicerade älvsystem kunna finna den optimala lösningen. Dimensioneringsarbetet genomförs av en dimensioneringsgrupp för varje älv.

Vid dimensioneringsarbetet för en älv är det viktigt att beakta inte bara dammarnas utskov utan även bestämmande sektioner i vattendragen, speciellt som erfarenheten visar att det

ofta finns andra sektioner i vattendragen som blir bestämmande under en högflödessituation och detta kan påverka både riskklass och dimensionering. Tillfällig dämpning av flöden kan ske som passiv eller aktiv dämpning. Vid passiv dämpning håller man samtliga utskov helt öppna, medan man vid aktiv dämpning aktivt söker öka dämningen genom att hålla utskoven endast partiellt öppna eller helt stängda. Speciellt aktiv dämpning ställer höga krav på det tekniska systemet, personal och organisation. Klassificeringen innebär att konsekvenserna av ett dammbrott skall analyseras och därvid kan beräkningar behöva göras av dels vad som sker i närområdet nedan dammen, dels hur vattenmassorna rör sig nedåt längs älven. Under dimensioneringsarbetet för älven bör även inverkan av ras i nipor och inverkan av drivgods beaktas.

För varje enskild damm måste kontrolleras att den uppfyller de krav som den valda lösningen vid älvdimensioneringen ställer. För fyllningsdammar gäller det förmåga att tåla överdämning, vilket bland annat innefattar frågor som inverkan av vågor, filter och inre erosion, läckage och erosion i dammkrönet samt stabilitet vid genomströmning och överspolning. För betongdammar gäller det bland annat stabilitet och i vissa fall förmåga att tåla överrinning. Generellt gäller naturligtvis att metoder för tillståndskontroll behövs för såväl övervakning som undersökningar.

Utskoven är av grundläggande betydelse vad gäller flödesanpassningen. Det gäller speciellt att den förutsatta avbördningskapaciteten verkligen finns och att utskovsluckorna verkligen kan öppnas när de behövs, det vill säga att de har tillräcklig funktionssäkerhet. Dimensioneringsarbetet förväntas innebära behov av kompletterande avbördningskapacitet vid ett antal dammar och därvid väljs vanligen ett konventionellt utskov med lucka. Ett tänkbart alternativ kan vara någon form av "fuseplug", exempelvis en eroderbar dammdel. I riktlinjerna förutsätts att frånslag kommer att ske under en högflödessituation och turbinvattenföringen får därefter inte tillgodoräknas. Genom särskilda åtgärder kan det dock vara tänkbart att i vissa fall på ett säkert sätt utnyttja turbinvattenvägen.

Dammsäkerheten beror utöver det dimensionerande flödet på ett stort antal andra faktorer och det är naturligtvis angeläget att för samtliga dessa ha en väl avpassad säkerhetsnivå. Ett värdefullt hjälpmedel härvid är riskanalys.

Inom alla ovan nämnda områden har utredningar genomförts, vilka ingår i rapportserien och kortfattat beskrivs i denna huvudrapport.

En sammanfattande slutsats är att det är viktigt att arbetet med anpassning till de nya riktlinjerna genomförs på ett ansvarsfullt och kompetent sätt för att den höjning av dammsäkerhetsnivån, som Flödeskommitténs arbete syftar till, verkligen skall uppnås.

SUMMARY

The development of hydro power and construction of large dams began in earnest in Sweden after World War II, reaching a peak during the 50s and 60s. The principles for the design and construction of dams during this period of intensive building are still largely valid.

As in many other countries, in Sweden we have re-evaluated the methods previously used for determining the design flows of dam facilities. The power industry and SMHI have, via the guidelines from the Committee for Design Flood Determination, agreed on new guidelines for this purpose, which in some respects has resulted in a new approach. The new guidelines mean that higher runoffs will have to be coped with than was previously the case, and consequently in several cases various kinds of improvements will need to be made to the dams.

In order to be able to modify the dams to meet the new requirements in a safe and cost-effective way, 24 of surveys and development projects have been carried out. These projects were completed at the request of the VASO Dam Committee, which is the power industry's joint organisation for dealing with questions of dam safety and, among other responsibilities, has the task of co-ordinating modifications of the dams to comply with the new guidelines. The steering committee that directed the work consisted of Harald Eriksson – Sydkraft, who was the Chairman, Sten Lasu – Svenska Kraftverksföreningen, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen, and Malte Cederström and Urban Norstedt – Vattenfall.

The goal of this Main Report is to provide an overview of the contents of the Committee's guidelines and routines for implementing them, and to present the background and contents of the studies carried out as well as to briefly summarise the more important conclusions and recommendations. In addition, this report presents the results of some minor studies that have not been previously presented as reports.

At present, there are more than 10 000 dams in Sweden, some 1 000 of which are used for generating hydro power. Approximately 200 of these dams are classified as high dams, i.e. higher than 15 metres. In general, it can be stated that there have been very few dam failures in Sweden.

The Committee's guidelines were published in 1990 and are to be used by the Swedish hydro power industry. The design flow specified in the guidelines is based on a consequence classification of the dams, i.e. the damage that would result from a possible dam failure, without considering the actual likelihood of a dam break occurring. The dams are divided into two "consequence classes", the design flows for which are calculated in different ways. There are, however, a large number of dams that do not belong to either category and are therefore not covered by the guidelines.

The routines for implementing the guidelines are quite complicated, especially since the goal is to find the most technically and economically optimal solution. This means that the dimensioning should be carried out for the entire river system. Dimensioning means that a calculation is made of the design flood and if this cannot be coped with without some sort of corrective measure or by temporary allowing higher waterlevels and flood mitigation,

additional reconstruction measures must be initiated in order to increase the discharge capacity, for example by building a new spillway. Alternatively, flood mitigation can be increased by raising the height of the dam and thereby permitting increased temporary higher water levels. The work involved in determining the optimal solution is begun by preliminarily dimensioning the dam located furthest upstream and noting any corrective action that needs to be taken. Then the next dam is dimensioned, and this may affect the dimensioning of the upstream dam. In this manner the calculations are gradually performed for the entire river. In order to arrive at the technically/economically optimal solution, cost estimates of the various possible alternatives are made. These alternatives are also compared in terms of their benefits and drawbacks. An optimization programme has been developed so that even with complicated river systems it will be possible to find the optimal solution. For each river, a dimensioning group is responsible for carrying out all dimensioning work.

During the dimensioning work for a river it is important not to pay attention solely to the dam spillway, but also to critical sections in the watercourse, especially since experience has shown that there are often other sections in the watercourse that can become critical during a high flood situation and this may affect both the risk class and the dimensioning. Temporary flood mitigation can be either passive or active. Passive flood mitigation implies keeping all the spillways fully open, while active flood mitigation involves actively seeking to increase the dampening by having the spillways partially opened or entirely closed. Active flood mitigation places particularly high demands on the technical systems and on personnel and organisation. The classification process means that the consequences of a dam failure are analysed, and in this context it may be necessary to calculate what happens in the area immediately below the dam, as well as how the water masses will move down along the river. Other aspects to be taken into consideration during the dimensioning work for a river are the effects of landslides on river buffs and of floating debris.

Each individual dam must be checked to see that it satisfies the requirements imposed as a result of river dimensioning. In the case of embankment dams, this means the ability to tolerate higher waterlevels than normal, which among other aspects involves issues such as the effects of waves, filters, internal erosion, leakage and erosion in the crest of the dam, as well as stability during increased leakage or waves passing over the crest of the dam. In the case of concrete dams, this concerns, among other aspects, stability and in some cases the ability to tolerate overtopping. In general, methods for carrying out status checks are needed, for both monitoring and investigation.

The spillway is of fundamental importance with respect to flow adaptation. It is particularly important that the assumed discharge capacity actually exists and that the spillway gates can really be opened when needed, or in other words that they have a sufficient level of functional safety. The dimensioning work is expected to result in the indication of a need for additional discharge capacity at a number of dam sites, which usually means choosing a conventional spillway with gates. A conceivable alternative could be some form of “fuse-plug”, for example an erodible section of the dam. In the guidelines, it is assumed that the power plant will be shut down during a high flood situation and that drive water will no longer be used to operate the turbines. Through the use of special measures, however, it may be possible in some cases to safely use the turbine waterways to discharge water.

In addition to the design flood, dam safety depends on a great many other factors. It is vital that all such factors should maintain the proper level of safety. A useful tool in this respect is a risk analysis.

In all the above areas, investigations have been carried out, which are included in the report series and are briefly described in this report.

An overall conclusion is that it is very important that the work of complying with the new guidelines is performed in a responsible and competent manner so that the increase in the level of dam safety, which was the aim of the work carried out by the Committee for Design Flood Determination, is actually attained. It is our hope that the development programme carried out will contribute to this end.

VASO Dam Committee

1. FLÖDESKOMMITTÉNS RIKTLINJER FÖR DIMENSIONERANDE FLÖDEN

1.1. Allmänt

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 på ett kompetent sätt, 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 (möjlig tillrinning), teknik (bl a verklig avbördningsförmåga, dimensionerande sektioner, flytgoods, teknisk förmåga att klara överdämning, luckors funktionssäkerhet och tillståndskontroll), säker driftsamverkan, brottkonsekvenser och beredskap samt riskanalys. Generellt kan sägas att en extrem flödessituation medför problem som är svåra att helt förutse eftersom erfarenhet av naturliga skäl normalt saknas.

För de anläggningar där t ex ytterligare avbördningskapacitet måste tillskapas är det väsentligt att åtgärderna utformas så att största möjliga hänsyn tas till ovan beskrivna förhållanden. För de anläggningar där ombyggnad icke bedöms erforderlig, är det naturligtvis också nödvändigt att vid denna bedömning hänsyn tas till de svårigheter som kan tänkas uppstå under en extrem flödessituation.

Efter en behovsanalys initierade dammkommittén inom VASO (Vattenregleringsföretagens Samarbetsorgan) ett antal utrednings- och utvecklingsprojekt för att ytterligare belysa resp. öka kunskanndet inom vissa områden. Likartade utredningar inom hydrologiområdet har genomförts av en arbetsgrupp för hydrologiskt utvecklingsarbete inom VASO, benämnd VASO/HUVA.

I denna huvudrapport beskrivs översiktligt innehållet i Flödeskommitténs riktlinjer, anpassningsprocessen och ges en sammanfattande beskrivning av de ingående projekten och bakgrunden till dem. Rapporten har disponerats i en allmän del, en del om faktorer som påverkar älvdimensioneringen, en del om de faktorer och krav som gäller för den enskilda dammen. Rapporten behandlar därtill riskanalys, samt kortfattat forskning och utveckling inom dammsäkerhetsområdet, organisationsfrågor ur dammsäkerhetssynpunkt samt beredskap. (Några rapporter som ingår i serien har inte enbart koppling till anpassningen till Flödeskommitténs riktlinjer utan är av mer generell natur, men har bedömts som särskilt viktiga att beakta i samband med den säkerhetshöjning som förestår.)

1.2. Dammar i Sverige

Man räknar med att det i Sverige troligen finns mer än 10 000 dammar av varierande storlek och ålder, varav ca 1000 är dammar för vattenkraftändamål. Av dessa betecknas efter en förnyad inventering ca 200 som höga dammar, dvs har en höjd som överstiger 15 m och av dessa är tre drygt 100 m höga. De större dammarna tillhör nästan helt kategorin kraftverks- eller regleringsdammar. Enstaka höga dammar med andra ägare finns dock, t ex gruvdammar.

De höga dammarna i Sverige är till största delen jord- eller stenfyllningsdammar och flertalet av de resterande är betongdammar, huvudsakligen lamelldammar eller massivdammar samt tre valvdammar.

Vattenkraftutbyggnaden i Sverige började vid sekelskiftet och en intensiv utbyggnad skedde under 50-, 60- och 70-talet. Idag är den genomsnittliga åldern på de höga dammarna ca 35 år och alla är äldre än 25 år.

1.3. Orsaker till dammbrott

Allmänt kan sägas att Sverige har drabbats av mycket få dammbrott och vid en analys av orsaker till dammbrott får man därför använda internationell statistik, vilket även skett i nedanstående analys.

En vanlig orsak till inträffade dammbrott hos fyllningsdammar är att överströmning av dammen skett, antingen till följd av extrema flöden med överströmning som följd eller att avbördningsanordningarna inte fungerat under t ex ett högflöde. (Det senare var fallet vid dammraset i Noppikoski år 1985. Denna damm var en 16 m hög jordfyllningsdamm och för övrigt det enda kända dammbrott i en hög damm som inträffat i Sverige.)

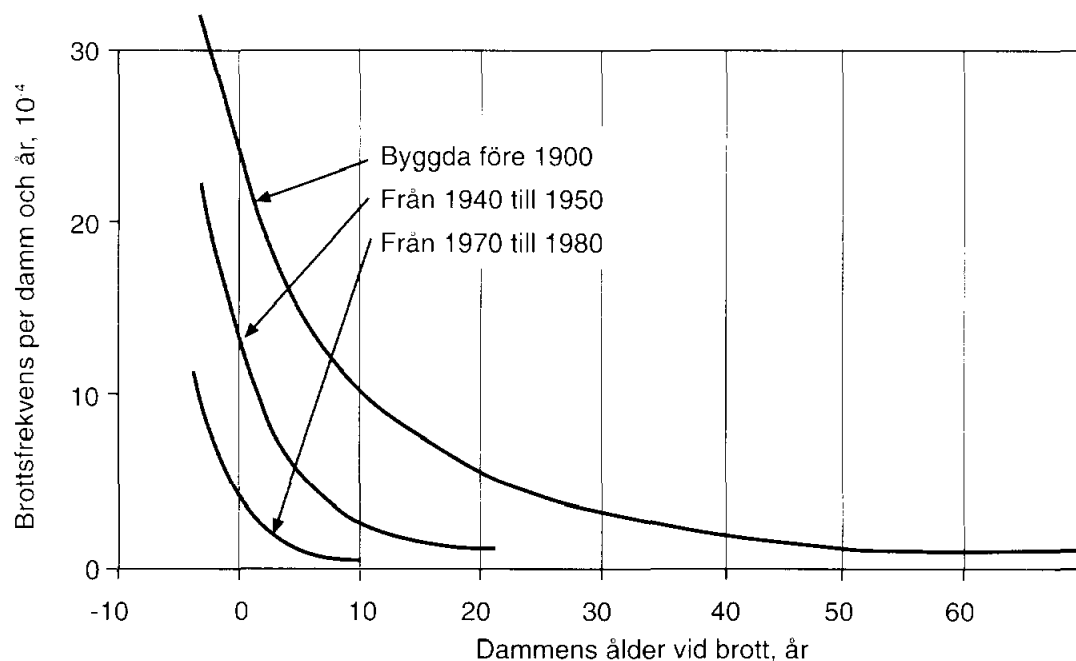
En annan vanlig orsak till dammbrott har varit flödeserosion, t ex erosion av nedströms dammtå intill utskov, vilket också oftast inträffat i samband med extrema flöden.

Läckage genom dammen eller grunden beroende på hydraulisk uppspräckning, inre erosion eller piping, är andra vanliga orsaker till inträffade dammbrott. Dessa dammbrott behöver inte ha samband med extrema flöden, även om en förhöjd vattennivå kan ha en pådrivande effekt. Ytterligare en vanlig orsak till inträffade dammbrott har varit instabilitet.

Vad gäller betongdammar kan brott tänkas ske genom stjälpning eller glidning för såväl massivdammar som lamelldammar. Därtill kan lokala brott i t ex en lamell i en lamelldamm tänkas ske på grund av urlakad betong eller genom armeringsbrott/förankringsbrott. Vad gäller valvdammar har brott förekommit vid anfangen eller genom skjuvning nära grunden, men generellt har dessa dammar en mycket god förmåga att tåla överbelastningar.

Internationell statistik visar att brottsannolikheten för dammar är av storleksordningen 10^{-4} /år, damm. Dylika statistikuppgifter kan ge en uppfattning om den genomsnittliga sannolikheten för dammbrott för olika dammtyper, men säkerheten för en specifik damm kan inte baseras på denna typ av generella erfarenhetstal.

De flesta dammbrott har inträffat under byggnadstiden, i samband med första dämning-upptagningen eller de första åren därefter, vilket framgår av fig. 1.1. Figuren visar också att frekvensen av dammbrott avtagit med tiden, vilket kan antas bero på förbättringar i kunnande och teknik under denna tid.



Figur 1.1. Dammbrottsfrekvens som funktion av byggnadsår och ålder.

1.4. Flödeskommitténs arbete

Flödeskommittén tillsattes år 1985 efter initiativ av den svenska vattenkraftindustrin och hade till uppgift att utarbeta förslag till riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden vid kraftverks- och regleringsdammar. År 1990 framlade kommittén en slutrapport: "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar", vilka Kraftverksföreningens medlemmar, bland vilka numera även Vattenfall ingår, beslutat att tillämpa. Under arbetet med att anpassa dammarna till de nya riktlinjerna har i några fall förtydliganden och kompletteringar visat sig nödvändiga och med anledning härav har tillägg till riktlinjerna utfärdats, vilka redovisas nedan.

Beräkningarna förutsätts normalt ske älvvis. Åtgärder för att uppfylla riktlinjernas krav kan vara att öka avbördningskapaciteten (t ex genom att bygga nya utskov, bygga om befintliga eller i vissa fall genom rensningar i vattenvägen) eller att på något sätt dämpa flödet. En tredje möjlighet skulle kunna vara att utnyttja tidiga och tillförlitliga nederbördsprognoser till förtappning och härigenom skapa utrymme i magasinen för dämpning. De idag tillgängliga prognosmetoderna bedöms dock inte tillräckligt säkra för att denna möjlighet skall kunna utnyttjas för att uppfylla riktlinjernas krav.

För att möjliggöra flödesdämpning i befintliga dammar (riskklass I och II) medger Flödeskommitténs riktlinjer avsteg från kravet att vid dämninggränsen kunna avbörda ett flöde med en återkomsttid av minst 100 år. Med hänsyn till dammens säkerhet får därför ett dimensionerande flöde framsläppas vid vattenstånd överstigande dämninggränsen, dvs en

överdämning sker. Vattenlagen har på Flödeskommitténs initiativ kompletterats med rätt att skadereglera sådana överdämningar i efterhand.

1.4.1. Riskklassindelning

Flödeskommittén ansåg att i första hand bör den skadegörelse, som ett eventuellt dammbrott kan åstadkomma, bestämma riskklassen och därmed också kraven på dammens dimensionering. Riktlinjernas dimensionerande flöde bygger därför på vad som där kallas "riskklassindelning" av dammarna, men med det språkbruk som sedemera etablerats vore "konsekvensklassindelning" en riktigare benämning. Indelningen bygger på den skada som ett tänkt dammbrott vid en viss damm skulle kunna åstadkomma, men behandlar däremot inte sannolikheten för att brott skall inträffa i dammen. Det är således inte sannolikheten för att dammbrott skall inträffa vid en viss dam som avgör klassen, utan enbart de konsekvenser som skulle uppstå om dammen skulle brista. Två riskklasser har definierats av Flödeskommittén, men därtill finns ett stort antal dammar som inte tillhör någon av dessa och vilka därmed inte påverkas av de nya riktlinjerna.

Vid klassificering är det viktigt att notera att det är marginaleffekten av ett dammbrott, dvs den ökning av skadan på omgivningen, som dammens raserande innebär, utöver den skada som den exceptionellt höga vattenföringen ändå skulle ha orsakat, även om dammen inte rasat.

Riskklass I

- Icke försumbar risk för människoliv eller annan personskada;
eller
- beaktansvärd risk för allvarlig skada på viktig trafikled, dammbyggnad eller därmed jämförlig anläggning eller på betydande miljövärde;
eller
- uppenbar risk för stor ekonomisk skadegörelse.

Riskklass II

Icke försumbar risk för skada på trafikled, dammbyggnad eller därmed jämförlig anläggning, miljövärde eller annan än dammägaren tillhörig egendom i andra fall än som angetts vid riskklass I.

Flödeskommittén framhåller att bedömningen av vilken riskklass en viss dammbyggnad skall hänföras till måste avgöras från fall till fall, i första hand av dammägaren men i sista hand vid prövning enligt Vattenlagen. Eftersom det är konsekvensen av skadan, som avgör riskklassplaceringen, går det knappast att generellt hänföra olika dammtyper (fyllningsdamm, betongdamm etc) till den ena eller andra riskklassen.

1.4.2. Dimensionerande flöde

Flödeskommitténs riktlinjer behandlar såväl nya som befintliga dammar, varvid vissa skillnader föreligger. Föreliggande rapport behandlar i första hand befintliga dammar. Vad gäller riktlinjernas exakta innehåll hänvisas till dessa.

Dimensionerande flöde vid riskklass I

Bestämningen av ett dimensionerande flöde för dammar i riskklass I skall simuleras med tillämpning av vedertagen hydrologisk modell i följande sammanfattande huvudsteg:

1. Modellen kalibreras mot befintliga tillrinningsserier (minst 10 år).
2. Med frekvensanalys beräknas ett snömagasin med en återkomsttid av 30 år. Detta värde läggs in i modellen på det senaste datum, vid vilket snötäcket kulminerat under något av de analyserade åren.
3. Den dimensionerande 14-dagarsnederbörden enligt Flödeskommitténs riktlinjer höjd-, års- och områdeskorrigeras.
4. Regleringsstrategier innehållande Flödeskommitténs riktlinjer, magasindata, avbördningskurvor och vattenhushållningsbestämmelser läggs in i modellen. Härvid beaktas att enbart utskov som med full säkerhet kan tas i anspråk med kort varsel får medräknas. Magasinen anses ha nått dämningssgräns senast den 1 augusti och antas inte bli avsänkta förrän den kritiska flödesperioden är över. Eventuella tappningsmöjligheter genom kraftverksturbiner får ej medräknas fr o m nederbördssekvensens nionde dag. VASO dammkommitté rekommenderar att i de fall där åtgärder ändå måste utföras för att klara det dimensionerande flödet, bör dammen även anpassas till att bli oberoende av om produktionstappning är tillgänglig eller ej.
5. Det dimensionerande flödet bestäms med simulering i modellen under minst 10 år baserat på senast tillgängliga års klimatdata. I simuleringen flyttas 14-dagarsnederbörden fram en dag i taget fr o m datum enligt punkt 2 ovan. Den simulering som ger det högsta vattenståndet i årsserien enligt föregående stycke blir det dimensionerande flödes-tillfället.
6. Vindpåverkan fastställs och adderas till det dimensionerande vattenståndet enligt punkt 5 ovan.

Därutöver gäller för dammar i riskklass I ett tilläggsvillkor, innebärande att dammens avbördningsförmåga vid dämningssgränsen i regel skall vara sådan, att ett flöde med en återkomsttid av minst 100 år kan framsläppas. Undantag härifrån kan medges vid vattendomstolsprövningen, exempelvis om tillstånd lämnas till överdämning.

Dimensionerande flöde vid riskklass II

För dammar i riskklass II får flödet med en återkomsttid av minst 100 år bestämmas med hjälp av frekvensanalys av befintligt hydrologiskt material (tillrinning, naturlig vattenförling eller reglerad vattenförling).

1.4.3. Tilläggsbeslut till Flödeskommitténs riktlinjer

Under Flödeskommitténs arbete förutsågs att kompletteringar eller jämkningar av riktlinjerna skulle kunna komma att behövas, liksom anvisningar vid tillämpning av riktlinjerna i särskilda fall. Kraftindustrin hade redan i detta skede tillsatt en arbetsgrupp, VASO dammkommitté, med uppgift att förbereda och följa de ombyggnadsarbeten och flödes-

representerad av VASO dammkommitté. Samrådet har anmälts till regeringen. Hittills beslutade tillägg är:

Tillägg 1

Tillägget behandlar riskklassificering med avseende på konsekvenserna av höga flöden och fastslår att marginaleffekten (skadan) av ett eventuellt dammras är avgörande för klassificeringen. Se bilaga 1a.

Tillägg 2

Tillägget avser en ändring beträffande vindhastighet vid bestämmande av erforderligt fribord. Se bilaga 1b.

Tillägg 3

Tillägget avser en ändring i anvisningarna för beräkning av flöden för nya dammar i riskklass II och innebär att punkt 2 och 3 utgår. Se bilaga 1c.

1.4.4. Återkomsttid

När sannolikheten för att ett visst årsmax (Q_{max}) överskrids har bestämts, kan den s k återkomsttiden för detta värde beräknas:

$$T = \frac{1}{p}$$

där T = återkomsttiden för Q_{max}

p = sannolikheten för att Q_{max} överskrids

Vid dimensioneringsberäkningar talar man ofta om 100-årsflöden, 1 000-årsflöden etc. Begreppet återkomsttid kan dock vara olämpligt att använda, eftersom det är lätt att förledas att tro att om 100-årsflödet inträffade förra året, dröjer det ungefär 100 år till nästa gång man får ett lika högt flöde. Sannolikheten för ett 100-årsflöde ett visst bestämt år är givetvis enligt teorin lika stor oavsett när det sist förekom.

Man kan också beräkna sannolikheten för att ett visst årsmax, Q_{max} , överskrids under en viss period, t ex en 10-, 50- eller 100-årsperiod.

$$p_n = 1 - (1 - 1/T)^n = 1 - (1 - p)^n$$

där p_n = sannolikheten att Q_{max} överskrids under en n-årsperiod.

Tabell 1.1 nedan ger samband mellan p_n , T och n . Ur den kan man exempelvis utläsa att sannolikheten för att 100-årsflödet överskrids under en 200-årsperiod är 87 %.

Tabell 1.1. Sannolikheten i procent för överskridande av T -årsflöde under en period av n år.

Återkomstintervall T	Periodlängd					
	10	50	100	200	500	1 000
10	65	99	100	100	100	100
50	18	64	87	98	100	100
100	10	40	63	87	99	100
200	5	22	39	63	92	99
500	2	10	18	33	63	86
1 000	1	5	10	18	39	63

1.4.5. Felkällor i beräkningar av återkomsttider

Olika val av fördelning ger, som tidigare nämnts, olika värden på sannolikheter och återkomsttider. De parametrar, som används i fördelningarna, är bl a seriens medelvärde och standardavvikelse. Bestämningen av dessa är beroende av tidsseriens längd – ju längre serie man har, desto bättre blir uppskattningen. Med de observationsserier vi i Sverige i allmänhet har tillgängliga, bör tvåparameterfördelningar användas.

2. ARBETSGÅNG VID IMPLEMENTERING AV FLÖDESKOMMITTÉNS RIKTLINJER

2.1. Allmänt

Flödeskommitténs riktlinjer innebär en relativt komplicerad arbetsgång vid dimensioneringsarbetet, speciellt då målet är att finna den tekniskt optimala lösningen. Arbetssättet beskrivs nedan.

För att arbetet med att anpassa dammarna till de nya riktlinjernas krav skall ske på ett optimalt sätt såväl med hänsyn till säkerhet som ekonomi, måste dimensioneringsarbetet ske gemensamt för samtliga anläggningar i en älv. Detta innebär nämligen att man kan hitta en mer optimal lösning än att utan vidare analys bygga ut avbördningskapaciteten i samtliga anläggningar, där den är otillräcklig och släppa vattnet vidare, vilket dels skulle innebära höga kostnader, dels stora skador genom översvämningar och erosion mm. En dylik optimal lösning kan innebära att större vattenmagasin utnyttjas till att dämpa flödena, vilket kan ske antingen genom att inte helt utnyttja den befintliga totala avbördningsförmågan (aktiv dämpning) eller genom att man avstår från att utöka avbördningskapaciteten. Detta innebär inte enbart en optimering för kraftindustrins del utan dämpningen kan också vara önskvärd för samhällets del, eftersom samhällets utbyggnad ofta skett på sådant sätt att omfattande skador uppstått redan vid flöden som är avsevärt lägre än de som dammarnas utskov idag är dimensionerade för. Detta beror i sin tur på brister i samhällsplaneringen men också på att samhället i övrigt är dimensionerat för betydligt lägre flöden än dammarna. Samtidigt bör framhållas att aktiv dämpning inte bör genomföras för annat än att säkerställa dammsäkerheten och då enligt en för älven upprättad plan, eftersom man annars (t ex om aktiv dämpning skedde för att undvika översvämningar nedströms) skulle inkräkta på dammens förmåga att klara just höga flöden – marginalerna skulle i så fall redan vara ianspråktagna, om det extrema fallet inträffar.

Om det dimensionerande flödet inte kan klaras genom överdämning och dämpning, måste ombyggnadsåtgärder tillgripas för att öka avbördningskapaciteten, t ex byggande av nya utskov. Alternativt kan dammen höjas, vilket ger viss ökning av avbördningskapaciteten i befintliga utskov men också kan ge en ökad dämpning.

Med en damms avbördningsförmåga avses i riktlinjerna inte bara avbördningsanordningarnas tappningskapacitet, utan hänsyn skall också tas till inverkan av övriga begränsande sektioner, såsom tilllopps- och avloppskanaler och andra eventuella hinder för vattnets avrinning.

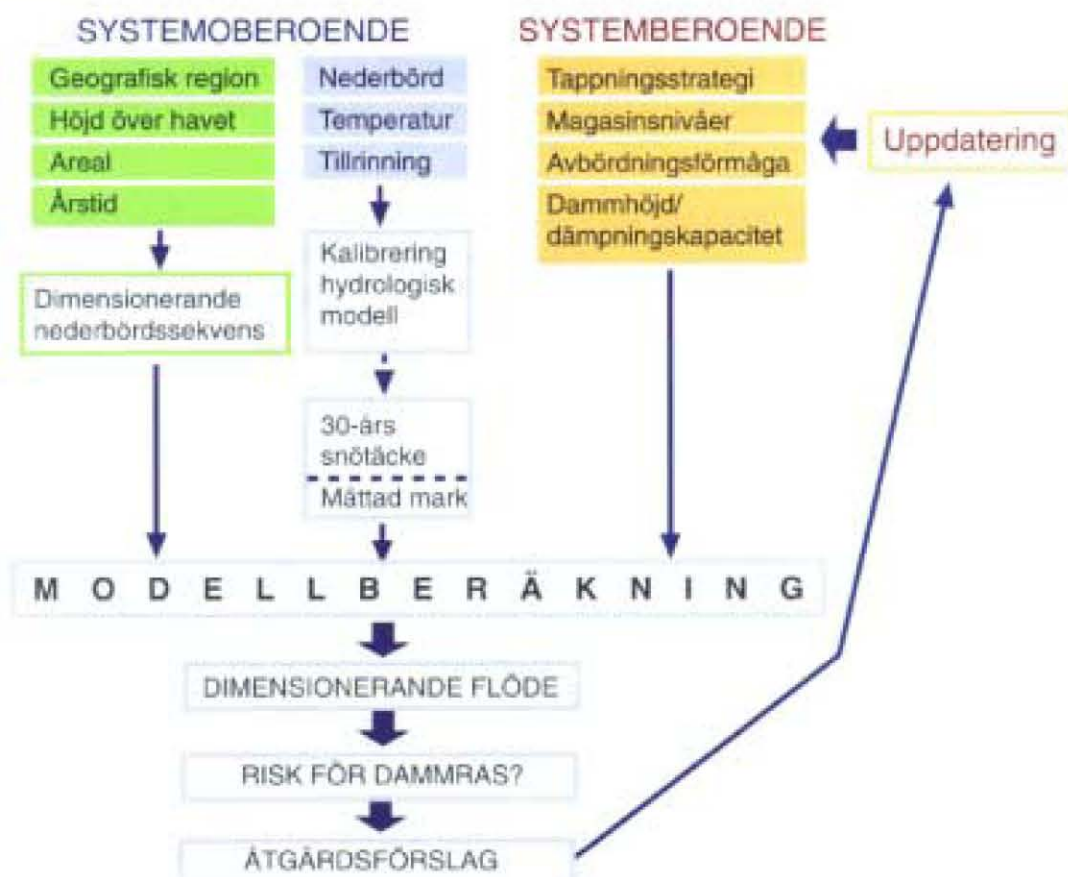
I vissa fall kan ökning av avbördningsförmågan ske genom ombyggnad av befintliga utskov, vanligen genom sänkning av utskovströsklarna. Genom att ersätta äldre, svårskötta avstängningsanordningar med moderna, lättmanövrerade luckor, kan man samtidigt öka funktionssäkerheten och möjliggöra en snabbare avbördningsökning. Ibland kan rensning eller förstoring av vattenvägar nedanför dammar vara en tillräcklig åtgärd för att höja avbördningskapaciteten. Slutligen kan nya utskov utföras i eller vid sidan av den befintliga dammen, t ex i form av fria överfall, luckavstängda ytutskov, eroderbara dammdelar, labyrinthöverfall eller hävertar. En tidig utredning kring dessa frågor redovisas i rapport 5 "Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar".

2.2. Älvvisa dimensioneringsgrupper

För att genomföra arbetet har älvvisa arbetsgrupper bildats med kompetens inom bl.a. hydrologi, vattenbyggnad, drift och vattenrättsjuridik. Arbetsgrupperna har att ta ställning till om dammarna och deras utskov klarar den dimensionerande tillrinningen eller om och i vilken omfattning vattenvägarnas avbördningsförmåga behöver ökas eller dammar höjas. Målet är att finna den för hela älvsystemet tekniskt-ekonomiskt lämpligaste kombinationen av utökad avbördningsförmåga och olika former av flödesdämpning.

2.3. Dimensioneringsmetodik

I en första etapp beräknas den dimensionerande tillrinningen till älvens samtliga dammar enligt det så kallade nollalternativet, vilket innebär att respektive damm och utskov förutsätts klara den dimensionerande tillrinningen. I en andra etapp fastställs vilka dammar som måste åtgärdas för att klara det dimensionerande flödet (höjning av dammen, ökning av avbördningskapaciteten eller en kombination av dessa två åtgärder). Ny beräkning utförs i älven. I speciella fall då önskvärd dämpning ej kan uppnås, kan en aktiv dämpning företas vid något ovanförliggande magasin. Med aktiv dämpning menas att en anläggning under en högflödessituation inte utnyttjar sin maximala avbördningsförmåga. För att med säkerhet finna den optimala lösningen bör jämförelse mellan alternativa lösningar dock göras, varpå slutligen de tekniskt/ekonomiska lämpligaste åtgärderna för älven i sin helhet kan fastställas.



Figur 2.1. Översiktlig beskrivning av arbetsgången vid flödesdimensioneringen.

2.4. Strategimodellen QS

Aktiv dämpning torde endast bli aktuell i mer komplicerade vattendrag och då blir genomförandet av beräkningarna betydligt mer komplicerat och behov av ett simuleringsförfarande uppstår. Ett optimeringsprogram/en strategimodell kallad QS har därför framtagits, vilken kan användas som hjälpmedel för att finna en teknisk/ekonomisk lösning.

Under dimensioneringsarbetet kan rekommenderas att känslighetsanalyser görs, så att en lösning som inte fungerar tillfredsställande undviks, att t ex utskovskapaciteten för utskoven i en damm i verkligheten är något större än förutsatt och för nedanförliggande damm något lägre.

Modellen är en ren flödesregleringsmodell, som matas med lokala tillrinningar baserade på mätningar eller hydrologiska modellberäkningar. Grundidén är att modellen skall utnyttja i varje tidssteg tillgänglig information i älven för valet av bästa flödesdämpningsåtgärd. I de fall som flödesdämpning inte är aktuell, kan modellen jämföras med regleringsdelen av t ex HBV-modellen. I QS kan dock ett delområde ha två utlopp med skilda adresser.

I strategimodellen anges för respektive damm kritiska vattenstånd som inte önskas överskridna. Innan något kritiskt vattenstånd uppnåts vid någon damm styrs tappningen helt av på förhand angivet sätt med önskade produktionstappningar och aktuell avbördningsförmåga vid de olika anläggningarna. Efter varje tidssteg undersöker modellen med början längst ned i älven om något kritiskt vattenstånd nåtts och sålunda ett dämpningsbehov föreligger inför nästa tidssteg. Om så är fallet beräknar modellen utifrån nästa tidsstegs prognoserade tillrinningar de maximala tappningar som tillåts från uppströms liggande anläggningar. I första hand eftersträvar modellen att flödet skall dämpas i det omedelbart uppströms liggande magasinet. Har det kritiska vattenståndet uppnåts även här flyttas dämpningskravet ytterligare ett steg uppströms, osv.

Modellen ger inte bara möjlighet att analysera lämpliga flödesdämpningsmagasin i samband med flödesdimensioneringsberäkningarna utan kan också vara ett planeringshjälpmedel i akuta flödessituationer.

Modellen med manual har framtagits inom ramen för denna rapportserie och finns därför att tillgå för vattenkraftindustrin. Den har utarbetats gemensamt av Vattenfall Utveckling AB och Vattenfall Hydropower AB.

2.5. Juridiska och ekonomiska aspekter

När arbetsgruppen för en älv genomfört sitt arbete och lösningen accepterats av berörda kraft- och regleringsföretag, skall den normalt presenteras och om lösningen så kräver i någon form fastställas av vattendomstol. Beroende på lösningens karaktär bedöms detta kunna ske samlat för hela älven eller för en enskild damm i taget, varvid dock i allmänhet helhetsbilden bör presenteras på lämpligt sätt. Vissa åtgärder, t ex höjning av tåtkärnan utan att dammen i övrigt ändras, kan innebära ett förenklat förfarande.

De skrivningar som tillkommit i vattenlagen bl a beträffande rätt att i vissa fall överdämna i syfte att skydda nedanförliggande damm eller dammar och skadereglera i efterhand talar för att några andra sakägare därvid inte kan anses finnas.

I vissa fall kan det tänkas vara rationellt att genomföra åtgärder på en damm för att skydda en annan från ett flöde den senare inte skulle klara. Det är därvid naturligtvis upp till ägarna av dammarna att träffa avtal om en sådan lösning och den ekonomiska ersättning för såväl ombyggnadsåtgärder som för drift- och underhållskostnader liksom produktionsförluster förknippade med detta.

Den förändrade ansvarsbild som ny lagstiftning om "strikt ansvar" innebär kan behöva beaktas vid dimensioneringen.

Juridiska frågor i samband med anpassningen till Flödeskommitténs riktlinjer behandlas av VASO juristkommitté.

3. UTREDNINGAR OM FLÖDESDIMENSIONERING AV ETT ÄLVSYSTEM

3.1. Allmänt

Vid dimensionering av ett älvsystem måste man beakta dels faktorer som beror av älven, dels förutsättningarna för varje damm i älvsystemet. Nedan presenteras utredningar som närmast berör älven.

Vid dimensioneringsarbetet och speciellt vid valet av den optimala lösningen är det naturligtvis viktigt att de underliggande förutsättningarna är riktiga, t ex att dammar som förutsätts överdämmas verkligen tål denna överdämning och att utskoven verkligen har den kapacitet som förutsetts. Detta innebär att sedan en preliminär dimensionering gjorts, måste man för varje damm noggrant alla kontrollera att den uppfyller de krav som lösningen ställer eller möjligheterna och kostnaderna för att genom modifiering eller ombyggnad uppfylla kraven. Alternativt får dimensioneringen göras om, dvs en annan eller modifierad lösning tas fram.

Flödeskommitténs dimensionerande flöde har bedömts ha en återkomsttid av minst 10 000 år och vid kontrollberäkning för ett dylikt flöde finns rimligen inte samma behov av säkerhetsfaktorer beträffande t ex lasten som vid mer vanliga belastningsfall. Även oavsett detta så skall t ex ett flöde med en återkomsttid av 100 år kombineras med en högre vindhastighet än Flödeskommitténs dimensionerande flöde och det är därmed inte utan vidare självklart vilket fall som blir dimensionerande för t ex uppströmsslänten, dvs kontroll måste göras för bägge fallen. Även fall med ett plötsligt fränslag av turbinerna, varvid drivvattenföringen skall avbördas genom utskov, kan tänkas inträffa och avbördningskapaciteten måste då vara tillräcklig och beroende på stighastigheten för magasinet kanske snabbt tillgänglig. I vissa fall skall detta kunna klaras med bara ett av lucksystemen, dvs växelströmsdrivna eller likströmsdrivna luckor. En analys bör även ske av konsekvenserna av ett felaktigt handhavande av luckor i uppströms belägen damm – om en kritisk situation därvid skulle kunna uppstå, bör kanske åtgärder vidtagas för att förebygga ett sådant oavsiktligt öppnande.

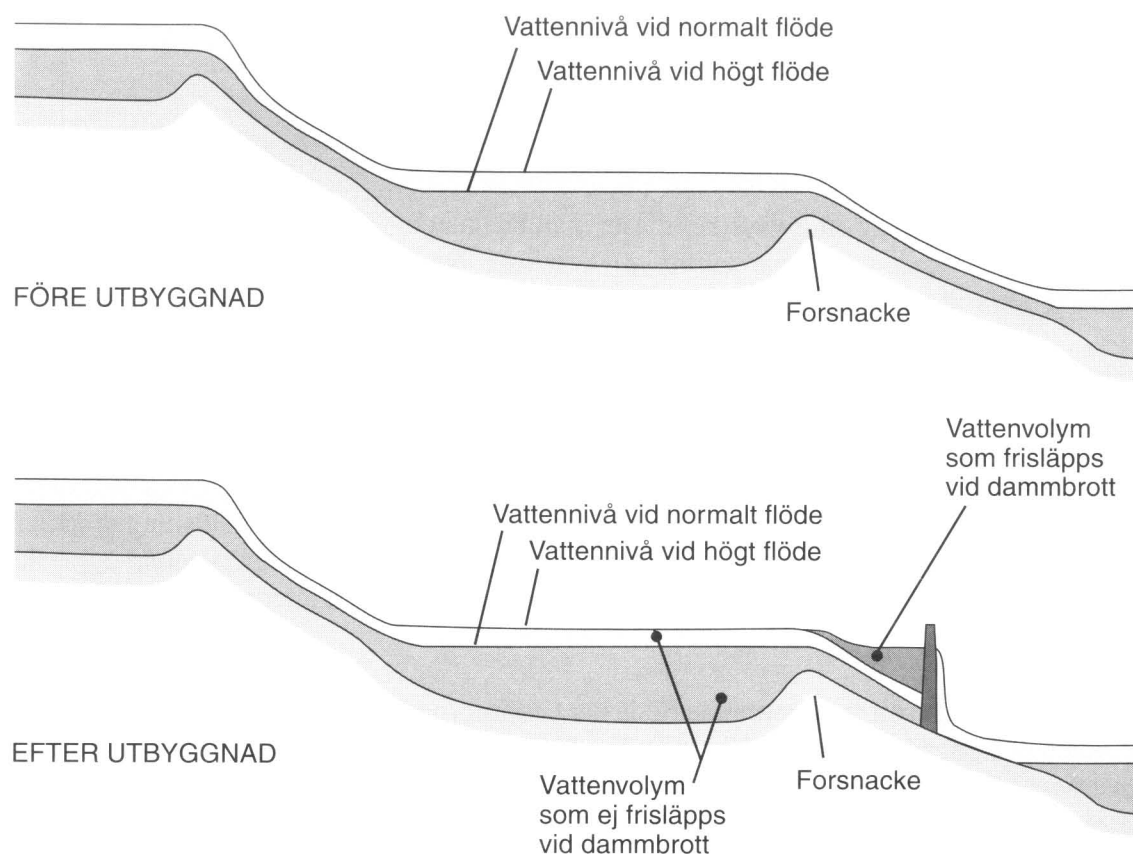
Nedan beskrivs några faktorer som visat sig vara av särskilt intresse vid dimensioneringsarbetet.

3.2. Dimensionerande sektioner i vattendrag

Erfarenheten visar att det ofta finns andra sektioner i vattendragen än dammarna som blir dimensionerande vid de flöden, som är aktuella i en högflödessituation. Detta påverkar såväl flödesdimensioneringen som riskklassificeringen av dammarna.

3.2.1. Påverkan på riskklass

En naturlig bestämmande sektion uppströms en viss damm kan t ex innebära att den vattenvolym som vid dammbrott frisläpps (se fig. 3.1) och går vidare till nästa damm nedströms begränsas så mycket att denna damm klarar situationen utan att rasa.



Figur 3.1. Exempel. Figuren illustrerar hur en forsnacke, om den är bestämmande sektion vid högt flöde, kan begränsa den frisläppta vattenvolymen vid ett tänkt dammbrott.

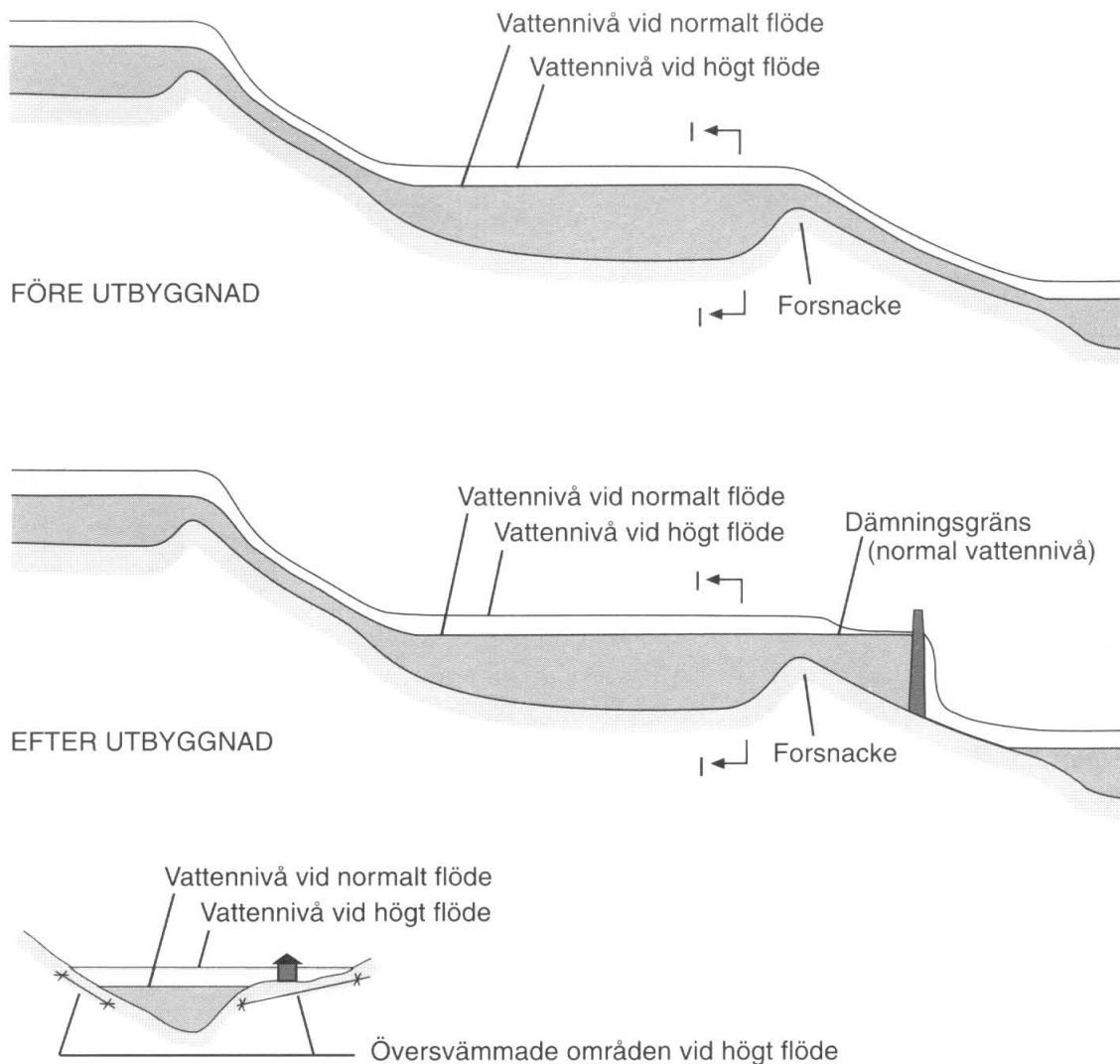
3.2.2. Påverkan på dimensionering

En naturlig dimensionerande sektion uppströms utskoven i en damms närhet innebär att vattennivån kommer att stiga mer än den skulle ha gjort om denna dimensionerande sektion inte funnits innan balans uppnås mellan tillrinningen uppströms den bestämmande sektionen och avbördningen genom utskoven. Detta innebär att en översvämning uppstår uppströms den begränsande sektionen (se fig. 3.2) och det är naturligtvis nödvändigt att detta är känt vid beräkningen av de vattennivåer som skulle uppkomma under det dimensionerande flödet. Därefter måste kontroll göras att systemet tål dessa vattennivåer (speciellt uppströms den begränsande sektionen).

En begränsande sektion nedströms utskoven kan i vissa fall genom motdämning reducera avbördningsformågan, vilket innebar att beräknad avbördning kommer att ske först vid en högre magasinsnivå än eljest.

Det förtjänar i sammanhanget att noteras att översvämning uppströms en naturlig begränsande sektion normalt inte har något samband med den nedanförliggande dammens existens utan beror på det höga flödet som sådant.

Vilken sektion som är dimensionerande beror på flödet. Det kan alltså inträffa att en viss naturlig sektion blir bestämmande först vid ett högt flöde, vilket gör den svårare att iden-



SEKTION I-I

Figur 3.2. Exempel. Översvämmningar när en forsnacke är bestämmande sektion vid högt flöde. Sektion I-I visar hur ett hus vid älven kan drabbas av översvämning oberoende av dammens existens.

tifiera (se fig. 3.3 och 3.4). En utredning har därför gjorts kring betydelsen av dimensionerande sektioner och hur man kan finna dem. Utredningen redovisas i rapport 3, "Dimensionerande sektioner i vattendrag":

Flödeskommitténs riktlinjer ger anledning att analysera förhållandena i och längs vattendragen vid höga flöden för att finna begränsande sektioner. En sådan utredning bör alltid starta med att kartor, äldre hydrologiskt material, utredningar och andra erfarenheter från projektering, domstolsprövning, byggande och drift tas fram.

Materialet sammanställs och analyseras preliminärt, gärna i en matematisk vattendragsmodell. Känsliga delar av vattendraget identifieras och den erforderliga noggrannheten i beräknade vattenstånd mm bestäms, t ex vid:



Figur 3.3. Bilden visar fallförluster under högt flöde vid utloppet ur Gesunden. Vid normalt flöde är det samma vattennivå fram till Krångede kraftverk 1 km nedströms.



Figur 3.4. Bilden visar fallförluster uppströms Stuguns kraftverk vid högt flöde. Förluster finns både vid bron och längre uppströms (nedtill i bild).

- Dammanläggningar, särskilt utskov med avloppskanaler och energiomvandlingsanordningar.
- Sjöar, magasin och andra flacka avsnitt av vattendrag där betydande tillskott i dämpning kan erhållas.
- Sträckor med liten marginal innan väsentliga översvämningar eller andra skador kan uppträda, t ex på broar, vägar, industrier, vattenverk, annan infrastruktur eller naturvärden samt punkter där vattnet möjligen skulle kunna bryta nya fåror.

Det är som framgått ovan av särskild betydelse att för strömningsförloppet dimensionerande sektioner identifieras, både bestämmande sektioner i hydraulisk mening och andra avsnitt med stora fallförluster. Många utskov utgör dimensionerande sektioner. En del dammar, som är belägna strax nedströms naturliga forsnackar, har däremot endast marginell inverkan på strömningsförloppen under höga flöden (se fig. 3.2).

Fältundersökningar bör i första hand inriktas på känsliga delar av vattendragen och på de flödessituationer som är av särskilt intresse.

Aktuella fältmetoder är dels karteringar och uppmätningar för att förbättra den geometriska informationen och dels mätningar av vattenstånd och vattenföringar och deras tidsutveckling i olika situationer. I första hand bör vattenföringar bestämmas med hjälp av utskov och turbiner med väl känd avbördningsförmåga. Erhållna resultat från fältundersökningar sammanställs och analyseras lämpligen i en vattendragsmodell.

Sammanfattningsvis kan sägas att utredningen beskriver hur man finner de begränsande sektionerna i ett vattendrag och vikten av att identifiera dessa, dels för att kunna göra en riktig riskklassbedömning, dels för att kunna beräkna utskovens avbördningsförmåga vid olika magasinsnivåer.

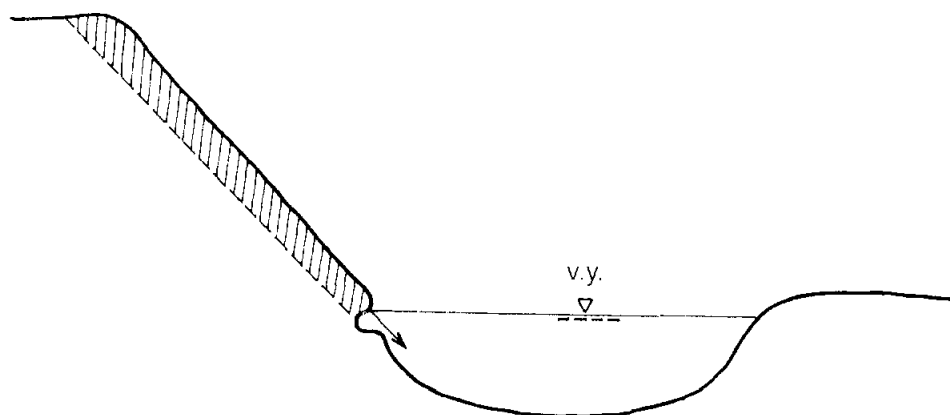
3.3. Skred i nipor

Allmänt kan sägas att jordskred kan innebära stora risker i samhället, vilket illustreras av t ex det kända skredet i Tuve. Generellt är problemet inte speciellt relaterat till vattenkraft, men kan i vissa fall ha betydelse för dammsäkerheten. Om skred i en nipa skulle inträffa i samband med ett dimensionerande flöde (t ex utlösas av erosion, orsakad av det höga flödet), skulle detta kunna tänkas innebära en uppdämning av älven uppströms raset och om detta skulle inträffa nära ett utskovsparti i dammen skulle det kunna ge upphov till en igensättning eller försvåra tillströmningen till ett eller flera utskov. Vid ett stort ras nära dammen skulle slutligen en så kraftig svallvåg kunna tänkas uppstå, att den slår över dammens krön. Med denna bakgrund har en studie genomförts beträffande skred i nipor. Utredningen kring dessa frågor redovisas i rapport 4, "Skred i nipor":

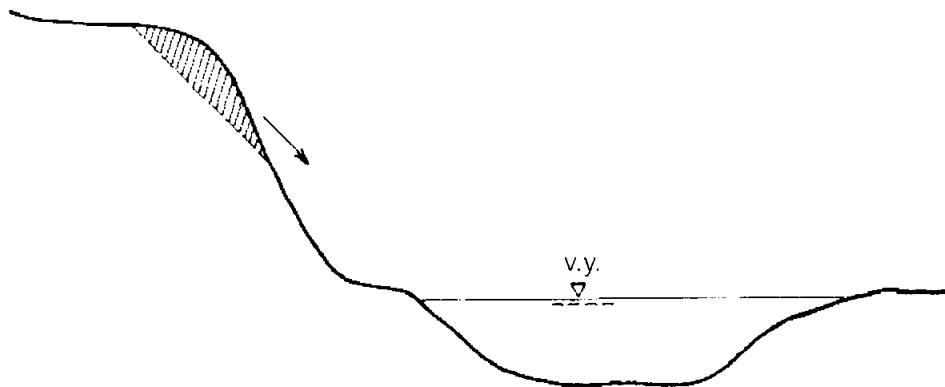
Nipor är branta erosionsslänter i silt, ofta med ett sandigt inslag, och förekommer under Högsta kustlinjen längs de norrländska älvdalarna. De har bildats genom att älvarna skurit sig ner i det sediment som de avsatt tidigare under postglacial tid, då de mynnade längre in i landet. Därigenom har det i de erosionskänsliga jordarterna

kunnat bildas höga branter på sidan av älvarna, på sina håll upp till 50 meters höjd med 45° medellutning. Med traditionella beräkningsmetoder är dessa nipor alltför branta för att de skulle kunna vara stabila. De huvudsakliga förklaringarna till att de ändå står kvar är att det finns negativa porvattentryck och cementeringseffekter i jorden.

Bland annat på grund av älvens undergrävande erosion kan det ibland ske skred i niporna. Dessa skred har en i jämförelse med lerskred liten omfattning och går endast ytligt. Skredytorna är plana och skredförloppen ganska långsamma (se fig. 3.3 och 3.4).



Figur 3.5. Skred i nipa orsakad av en underminering av slänten. Skreden sker ofta som flera delskred genom att skredytan successivt flyttar sig uppåt. Efter skredet kommer slänten ha samma lutning som innan.



Figur 3.6. Skred i den övre ofta branta delen av en nipa. Skredet kan t ex vara initierat av en spricka ovan krönet.

De konsekvenser som ett skred kan medföra är förhållandevis outredda. Inget fall är känt där ett skred har lett till en uppdämning av en älv, och det är inte troligt att skredmassorna ens från ett stort skred skulle kunna minska tvärsektionen i en älv med mer än 10–15 %. De vågor som kan uppstå genom ett sådant skred är förhållandevis små. Däremot skulle medföljande träd kunna rivas med av strömmen och fastna i trånga sektioner eller under broar och orsaka uppdämning och extra laster på bropelare. De risker som kan finnas för boende och för skador på byggnader måste utredas för varje nipa, lämpligen genom inventeringar av samma slag som har genomförts på uppdrag av Räddningsverket för ett antal kommuner längs Dalälven.

Det rekommenderas att fortsatta studier sker inom området. Siltens mekaniska egenskaper liksom brottmekanismerna i siltslänter bör studeras närmare. Den cementering som finns i niporna och dess känslighet för yttre påverkan bör utredas. Möjligheterna att utveckla släntvårdsprogram för slänter med olika vegetationstyper bör utredas. En sammanställning av äldre skred, genom att en skredstatistik ställs samman, skulle kunna öka kunskapen om skred och möjligheterna att beräkna sannolikheten för och det ekonomiska utfallet av olika förlopp. En genomgång av alla broar och trånga sektioner nedströms skredbenägna nipor för att identifiera riskobjekt för uppdämning genom medföljande träd är angelägen. Älvvisa inventeringar av skredbenägna slänter i bebyggda områden bör utföras.

Inverkan av ras i nipor bör beaktas vid dimensioneringsarbetet vad gäller påverkan på vattenvägen och uppkomst av drivgods. Vad gäller skred mer generellt är detta däremot händelser som snarast samhället och den enskilde kan anses ha ansvaret för att skydda sig mot. Detta gäller inte minst där bebyggelse skett så nära en nipa att ett ras förr eller senare oundvikligen kommer att inträffa.

3.4. Dämpning av flöden

En följd av utbyggnaden av älvar för flottning, kvarnar etc och senare för kraftändamål är att nya begränsande sektioner införs och att flöden som en följd härav dämpas i magasinen. Tidigare ofta årligen återkommande översvämningar upphör därmed. Vid mycket höga flöden kan dock översvämningar liknande de tidigare återkomma, eftersom den dämpande förmågan hos magasinen då kan vara otillräcklig. Den naturliga dämpningen påverkas också av utdikningar och skogsavverkning liksom av byggande av skyddsvallar mot översvämning, vilket under senare år tydligt visat sig i några europeiska floder. Vallarna ger ett skydd lokalt, men kan innebära förvärrade problem längre nedströms. Det är naturligtvis viktigt att man vid samhällsplanering tar hänsyn till allt detta, så att översvämningarna under en sådan situation inte kommer som en överraskning. I vissa fall har man tillåtit byggande av campingplatser etc på områden, vilka tidigare nästan årligen översvämmades, och vid beslutet om detta varit medveten om att förutsättningarna för mer permanent bebyggelse inte funnits. Många år senare när en översvämning inträffat, är denna förutsättning ofta bortglömd.

Utredningen av möjligheter, svårigheter och risker vid dämpning av flöden redovisas i rapport 9, "Flödesdämpning vid svenska dammar":

Höga flöden i en utbyggd älv får ett utjämnat förlopp genom magasinens dämpande förmåga. När inflödet (tillrinningen) till ett reglerings- eller kraftverksmagasin överstiger utflödet (avbördningen) genom turbiner och utskov kommer vattenytan att stiga uppströms om dammen. Detta innebär en extra magasinering av vatten, som dämpar flödesförloppet. Ökningen av vattennivån medför att avbördningen ökar och jämvikt uppstår när avbördningen blir lika stor som tillrinningen (eller när tillrinningen avtagit).

Vid dimensionering enligt Flödeskommitténs riktlinjer förutsätts normalt att alla luckor är öppna, men att inget flöde går genom turbinerna, dvs turbinernas drivvattenföring är noll. Den dämpning som då sker utan att aktiva åtgärder vidtas för att strypa avbördningen benämns **passiv dämpning**.

För att detta skall kunna ske på ett säkert sätt måste naturligtvis varje damm som överdäms ha en kontrollerad förmåga att säkert klara den överdämning, som blir följden vid det dimensionerande flödet.

Ytterligare dämpning kan erhållas om en aktiv strypning, s k **aktiv dämpning** av avbördningen genomförs under flödesförloppet. I praktiken innebär detta att några luckor stängs eller att öppningen reduceras under ett visst skede trots att dämningens gränsen överskridits. Det säger sig självt att sådana aktiva operationer inte kan genomföras med samma grad av säkerhet under dessa extrema driftförhållanden som under ordinär drift.

Aktiv dämpning kan indelas i **systemstyrd aktiv dämpning**, som förutsätter att dämpning skall ske vid ett magasin i enlighet med en strategi, som baseras på information från annan eller andra dammar i systemet och **lokalt styrd aktiv dämpning**, vars strategi bygger på information enbart från den aktuella anläggningen.

Det är uppenbart att aktiv dämpning ställer högre krav på de enskilda anläggningarna, det tekniska systemet i sin helhet i en älv, personalen och driftorganisationen.

Utredningen om flödesdämpning har utgått från att dammsäkerhetskraven inte bör sättas lägre vid aktiv än vid passiv dämpning. Utredningens syfte har varit att inventera och värdera de särskilda svårigheter som kan vara förknippade med aktiv dämpning samt att ge underlag för generella rekommendationer vad gäller hur långt sådan dämpning kan drivas med avseende på dammsäkerheten.

Utredningen avsågs ursprungligen att enbart behandla aktiv dämpning, men utvidgades efter hand till att gälla dämpning generellt – aktiv såväl som passiv.

En riskinventering av detta slag kan lätt ge ett negativt intryck, något som ligger i sakens natur. Inte desto mindre är det nödvändigt att så långt som möjligt sammanställa tänkbara risker för att sedan kunna värdera dem. Utredarna har kommit långt härvidlag, vilket dock inte utesluter att andra riskelement kan finnas – verkligheten överträffar ibland fantasin.

När det gäller värderingen av de enskilda riskerna måste denna ofta baseras på bedömningar, som givetvis kan göras olika. Vad gäller de rekommendationer, som en sådan inventering och värdering kan ge anledning till, är utrymmet för olika värderingar naturligtvis ännu större. Rekommendationerna har i denna utredning givits formen av vilka förutsättningar, som anses behöva föreligga för att dämpning av olika slag, skall anses tillfredsställande ur säkerhetssynpunkt. Inom några av de områden som berörs i denna utredning har fördjupade studier gjorts, vilka redovisas i separata rapporter i serien.

Utredningen drar slutsatsen att de svårigheter som är förknippade med **aktiv dämpning** kan vara så stora att denna typ av flödeshanteringsstrategi i möjligaste mån bör undvikas, och att **systemstyrd aktiv dämpning**, något som förutsätter säker informationsöverföring under hela förloppet, bör uteslutas.

3.5. Flödesdämpning under anpassningsskedet

Under tidsperioden fram till dess att dammarna helt har anpassats till de nya riktlinjerna kan det dock vara nödvändigt (och lämpligt) att utnyttja ett dämpningsförfarande om ett flöde skulle inträffa, som är större än vad anläggningarna i dagsläget eljest skulle tåla. Det är därför angeläget att man vid varje älv har tillräcklig kunskap för att kunna bedöma möjligheterna till dämpning under en sådan period. Man bör också ha klarlagt de juridiska förutsättningarna och ansvarsförhållandena för dylika dämpningsåtgärder.

Det kan också finnas skäl att redan vid älvdimensioneringsarbetet analysera situationer som kan uppstå om drivvattenföringen i en station inte upphör (dvs att stationen inte löser ut) samtidigt som nedanförliggande stationer fått fränslag. Detta fall innebär att ett högre flöde fortsätter vidare till nästa damm än vad man förutsatt. Möjligheten finns ju att då stänga av drivvattenföringen eller att inte öppna ett utskov fullt, men detta bör då vara planerat och överenskommet, speciellt om stighastigheten är hög.

3.6. Dammbrotts- och konsekvensberäkningar

Anpassningsprocessen till Flödeskommitténs riktlinjer ger anledning att studera konsekvenserna av dammbrott. Riskklassificeringen för en damm baseras på de marginalkonsekvenserna av dammbrott, dvs skador utöver de skador som extremflödet i sig förorsakar. I en del fall kan detta vara enkelt att bedöma, men i många fall kan en mer noggrann beräkning vara erforderlig av hur konsekvenserna skulle bli dels med, dels utan dammbrott vid successivt ökande flöden. Det gäller då att beräkna dels hur dammkroppen under ett initialskede successivt borterodas och flödet därmed ökar, dels hur vattenmassorna rör sig vidare nedåt längs älven.

3.6.1. Dammbrottsförloppet

Hur ett dammbrott utvecklas varierar naturligtvis från fall till fall, men ofta finns det några gemensamma drag. Om en fyllningsdamm börjar överströmmas, sker detta ofta på en viss begränsad sträcka av dammen, varvid dammen börjar eroderas ned på denna sträcka så att djupet ökar och erosion av sidorna sker. De kunskaper man har av inträffade dammbrott i fyllningsdammar pekar på att brottet utvecklas relativt snabbt ner mot dammens grundläggningsnivå för att sedan långsammare sprida sig åt sidan. Dammbrott utvecklas oftast med förvånansvärt branta sidor. Även om stora variationer finns beroende på magasinets storlek etc, så visar det sig ofta att i slutskedet öppningens bredd i botten är en à två gånger höjden. En studie kring detta presenterades vid konferensen HydroPower '97 i Trondheim [9].

Vad gäller själva dammbrottsförloppet, dvs hur öppningen vidgar sig i höjd- och sidled med tiden, finns det några etablerade dataprogram, t ex BREACH. En noggrann beräkning av detta förlopp kan ibland vara nödvändig, t ex vid riskobjekt i dammens närområde. Det bedöms vara möjligt att ta fram en mer fysikalisk korrekt beskrivning av dammbrottets utvecklingstid, storlek och form. En noggrann utvärdering av programmet vore av intresse. Dessa frågor har dock inte utretts närmare inom ramen för denna rapportserie. Fortsatt arbete planeras ske via ELFORSK.



Figur 3.7. Under den regnriska hösten 1985 hade grundvattennivån i Dalarna höjts över den normala. När sedan ett våldsamt, långvarigt regn inträffade och dessutom ett av utskoven i Noppikoski havererade, överdämades jorrdammen med dammbrott som följd, varvid magasinet på 1 Mm³ tömdes inom mindre än en timme. Flödet orsakade skador inom några mils sträcka längs älven.

3.6.2. Flodvågsberäkningar

När det gäller brottkonsekvenser för en enskild damm har tidigare olika mer eller mindre avancerade utredningar gjorts för ett antal dammar. Möjligheterna till avancerade beräkningar har dock snabbt förbättrats med tiden genom bl a den datatekniska utvecklingen. Konsekvenserna i en älvdal till följd av extrema flöden i sig har tidigare normalt ej utretts. Aktuellt i denna rapportserie har varit att analysera de olika metoder för att beräkna hur vattenmassorna från ett dammbrott rör sig och dessutom att utreda flödeskonsekvenser längs en älv där den extrema tillrinningen förutsätts passera odämpat förbi dammarna.

Generellt kan sägas att för magasin med stor area och volym har dammbrottets utvecklingstid liten betydelse för flodvågens utseende; brottets storlek har däremot stor betydelse. För höga dammar med små magasin, såväl vad gäller volym som area, har dammbrottets utvecklingstid däremot stor betydelse. Betydelsen av de olika dammbrottsparametrarna minskar dock med ökande avstånd.

3.6.3. Konsekvensberäkningar

Vid analys av konsekvenserna av ett dammbrott används dammbrottsförloppet och den hydrograf som blir följden av detta som ingångsvärden till den fortsatta beräkningen av hur vattenmassorna kommer att röra sig nedåt längs älven. Vid beräkningen

av konsekvenserna krävs en fysikaliskt korrekt beräkningsmodell för att beskriva det icke stationära flödesförhållande som en dammbrottsväg innebär.

Utredningen kring dessa frågor presenteras i rapport 18. "Metoder för dammbrottsberäkningar":

En begränsande faktor för noggrannheten vid konsekvensberäkning av dammbrott är det tillgängliga kartmaterialet, vanligen med 5 m ekvidistans. Noggrannheten skulle kunna förbättras om man systematiskt samlade kalibreringsunderlag under t ex höga vårfloeden och upprättade noggrannare kartor med 1 m ekvidistans i trånga passager i älvdalen. Att förbättra kartmaterialet längs hela älven skulle bli orimligt dyrt. I huvudsak kan endimensionella flodvågsmodeller användas, t ex DAMBRK och Mike 11. Tvådimensionella eller fysiska modeller kan vara aktuella i mycket begränsade områden, t ex nedströms en damm och där detaljerade och noggranna resultat behövs.

Dagens dynamiska routingmodeller lider alla mer eller mindre av stabilitetsproblem vid beräkningar runt kritisk strömning. Kunde dessa problem elimineras, skulle detta innebära lägre kostnader för framtida dammbrottsberäkningar, då en icke föraktlig del av kostnaderna uppstår i samband med att få modellen att fungera i svåra passager och att värdera trovärdigheten i resultaten. På sikt kan det vara möjligt att ta fram en interaktiv simuleringsmodell, där en PC-kunnig person själv skulle kunna göra nya dammbrottsberäkningar och simuleringar av extrema flöden.

Det finns ett antal tillgängliga metoder för beräkning av hur dammbrott utvecklas och för hur den lössläppta flodvågen utbreder sig nedströms dammen. I rapporten beskrivs de olika metoderna och deras för och nackdelar. En korrekt genomförd beräkning med realistiska förutsättningar för dammbrottet är ovärderligt vid beredskapsplanering, haveriövningar etc, men kan också vara av värde vid dammars riskklassbedömning.

3.6.4. Drivgods vid dammar

Flödeskommittén anger att endast utskovsanordningar som med full säkerhet kan tas i anspråk får medräknas i avbörningsförmågan. Drivgods skulle kunna sätta igen utskov eller reducera flödet och en utredning kring denna problematik har därför gjorts, vilken redovisas i rapport 6. "Drivgods vid dammar":

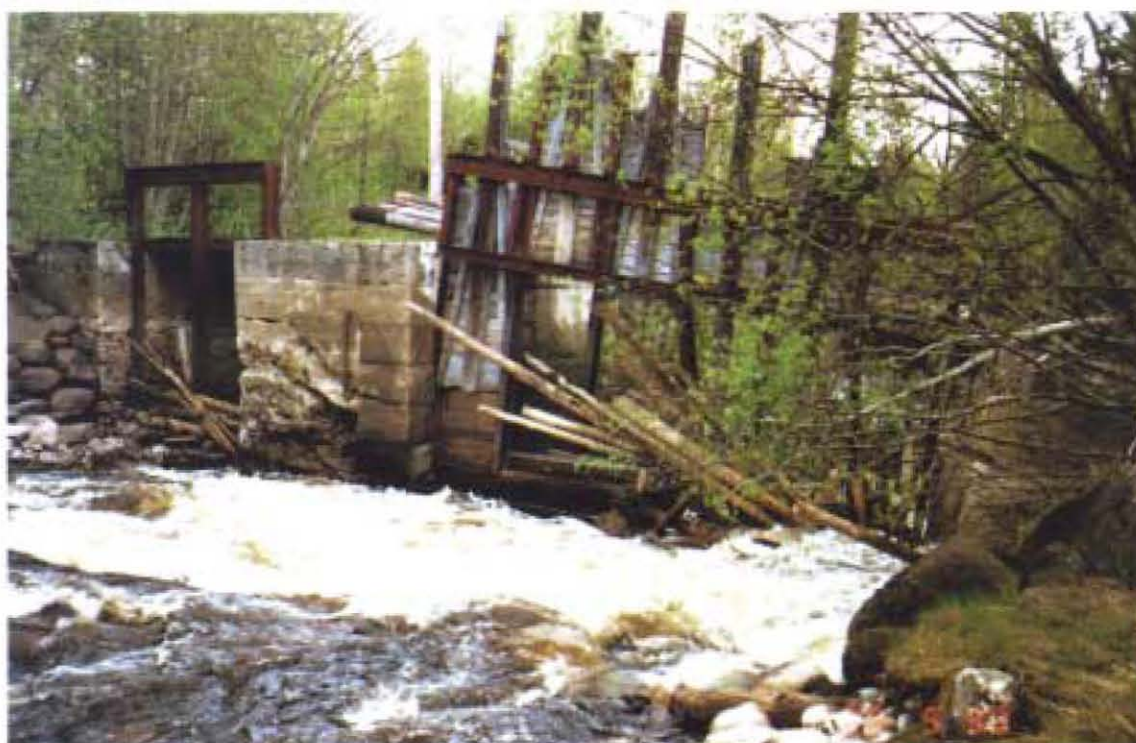
Vid normala högflöden i Sverige betraktas inte drivgods som något allvarligt säkerhetsproblem, men utskoven måste fungera som planerat även vid extremt höga flöden och inte sättas igen av drivgods.

Det man kan tänka sig kan komma som drivgods är först och främst träd och buskar men även sjunktimmer, flyttorv, båtar, bryggor etc. Erosion av stränder, vindfällan och skred bedöms vara den dominerande orsaken till drivgodsproduktion.

Det kanadensiska kraftföretaget B.C. Hydro har gjort utredningar och forskningsinsatser (se fig. 3.8) och vidtagit åtgärder mot drivgods. En anledning till detta är att drivgods i British Columbia är ett problem redan vid normala högflöden på grund av de lokala förhållandena, t ex trädbevuxna branta sluttningar med erosionskänslig



Figur 3.8: Modell med drivgods (Kanada).



Figur 3.9. Utskovet blockerat av stockar mm, som fastnat mot gåtarna. Vy från uppströmssidan.

jord (se fig. 3.10). Även i Norge har problemet uppmärksamats och modellförsök med drivgods har gjorts för fasta överfallströsklar. Liknande försök har gjorts för svenska förhållanden inom ramen för detta projekt.

I Sverige är den vanligaste utskovstypen i större älvar segmentluckor med stora dimensioner. Vid modellförsök med drivgods visar det sig att dessa utskov klarar att flotta ut enstaka träd som är upp till dubbelt så långa som utskovets bredd om det gäller ett ensamt liggande utskov. Om träden istället kommer två och två och sitter fast i varandras kronor eller om utskovet påverkas av ett intilliggande utskov ökar risken starkt att träden fastnar tvärs utskovspelarna. Vad som styr om träden kommer fram till utskoven ensamma eller två och två (eller fler i en bröt) är inte utrett, men förmodligen beror det på antal träd per ytenhet och på hur långt träden flutit samt på vindförhållandena. Vid flera utskov, sida vid sida, förändras strömbilden. Vid ett enskilt utskov klarar vattenströmmen att vrida trädet rätt i strömriktningen, men vid flera intilliggande utskov sker detta inte i samma utsträckning (se fig. 3.14).

I mindre älvar och då speciellt i äldre anläggningar är utskovsdimensionerna små. Spettluckor och gåtar med ca 1 m bredd är vanligt i dessa anläggningar. Det är i sådana anläggningar man har haft problem med drivgods och det är där man förmodligen också kommer att få de flesta tillbuden i framtiden och detta även om det i vissa fall byggs om eller byggs nya utskov (se fig. 3.9).

Åtgärder mot drivgods kan vara av olika slag beroende på förutsättningarna i det enskilda fallet. Exempel på möjliga åtgärder är:



Figur 3.10. Vid mycket branta slänter kan drivgods bildas vid hög vattenförling eller häftigt regn (Kanada).

1. Inventering av området uppströms.
2. En skötselplan upprättas för magasinets och älvens stränder där träd större än t ex 1,5 gånger utskovets bredd tas ner, stränderna skyddas mot erosion upp till en beräknad nivå vid extremflöde etc.

3. Länsar för uppsamling eller styrning av drivgods läggs ut eller förbereds för utläggning (se fig. 3.11).
4. Nya utskov ges en utformning som minskar risken för igensättning. Detta är speciellt aktuellt vid utbyggnad av utskovskapacitet för att uppfylla krav beträffande dimensionerande flöde enligt Flödeskommitténs riktlinjer, men kan naturligtvis även övervägas vid ny- och ombyggnad i andra fall.
5. Vid befintliga utskov kan detaljutformningen ofta förbättras och därmed ge en ökad möjlighet till passage.
6. Förberedelser för rensning med skogsmaskiner e dyl, sprängkapning etc.

Val av åtgärd bestäms av ett flertal faktorer, man bör t ex se på älven i helhet så att man undviker att flotta ut drivgods till ett magasin nedströms, vars utskov löper stor risk att sättas igen. Val av åtgärd påverkas även av om den aktuella dammen tillhör Flödeskommitténs riskklass I eller II, varvid man dock bör beakta inverkan på nedströms liggande damm av drivgods, som frisläpps vid dammbrott.

Ofta kan en kombination av åtgärder vara den bästa lösningen.

Ett exempel på problem med drivgods, som man lyckades lösa genom aktiva insatser, är vad hände vid högflödet pingsten 1995 i Vrängsälven. Det är normalt ett ganska oansenligt vattendrag med vattenföringen ca 8 m³/s och som har sitt källflöde någonstans inne i Norge. Händelsen har beskrivits av Bengt-Olof Sundell vid Gullspång Kraft AB:

På norska sidan i nära anslutning till Vrängsälven finns Vingersjön, som i normalfallet avvattnas till Glomma och då är allt gott och väl. Det kan däremot bli ganska



Figur 3.11. Uppsamling av drivgods med länsar i Kanada.

besvärliga situationer för oss vid höglöden, därför att när Glommas vattennivå stiger till en viss nivå, rinner vattnet in i Vingersjön, som då i sin tur stiger och avvattnar in i Vrängsälven, dvs in mot svenska sidan.

När man insåg att det var fråga om ett extraordinärt flöde, lades skyddsvallar vid kritiska ställen uteder vattendraget. Man kontrollerade också flödet uppströms hela vägen upp till Kongsvinger för att själva få en uppfattning om flödet var i stigande eller fallande.

Man konstaterade därvid att det följde med mycket drivgods i älven och insåg att resurser måste sättas in för att rensa älvfåran, där det blev igensättning av bråte och träd och annat som följde med vattnet. Särskilt utsatta ställen var utskov, broar och andra byggnationer i älven. För att få flexibilitet och kapacitet i detta arbete hyrdes en med gripklo försedd mobilkran in och satte igång arbetet. Resultatet blev bra och det var en rationell metod att hålla utskov och andra kritiska passager fria. Troligen var detta rensningsarbete helt avgörande för att man klarade av att bemästra det kraftiga flödet, som vid kulmen uppgick till 80 m³/s.

Exempel finns även på att man under en höglödessituation med hjälp av båt eller helikopter fört undan större träd och öar med flyttorv.

Rapporten beskriver drivgodsproblematiken och några möjliga lösningar. I rapporten konstateras att drivgods vid normala höglöden (upp till återkomsttid av 30 å 50 år) inte varit något säkerhetsproblem vid dammar i klass I och II, men samtidigt betonas att utskoven måste fungera som planerat även vid högre flöden (från 50 års återkomsttid och upp till dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer utan att sättas igen av drivgods. Det bör noteras att även om drivgodsfrågorna är speciellt viktiga vid klass I-dammar enligt



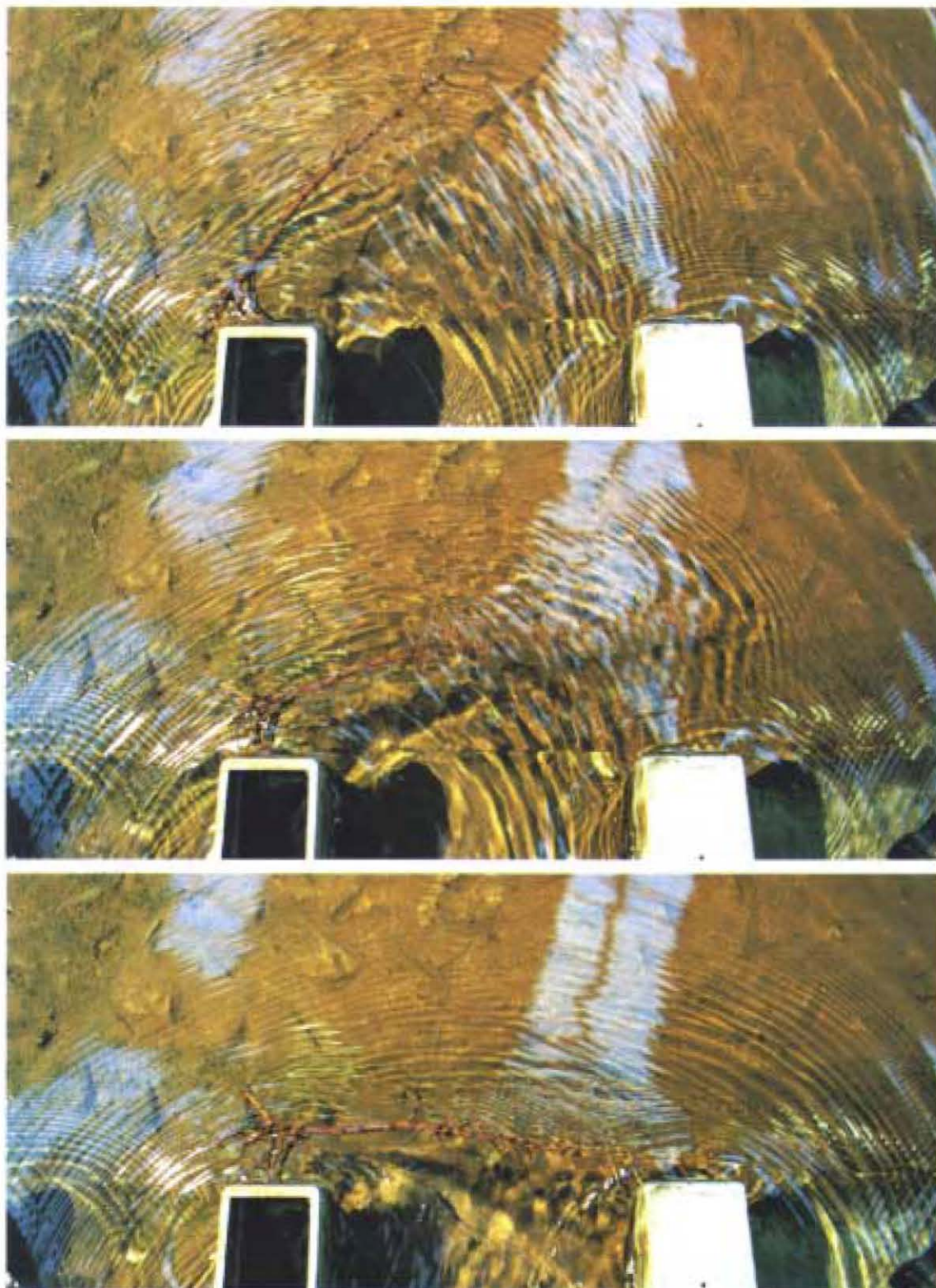
Figur 3.12. Drivgods av mindre storlek som kommit vid ett högt flöde.



Figur 3.13. Efter en veckas högt flöde står träd längs stränderna kvar trots hög vattennivå.

Flödeskommitténs definition, så bör de även beaktas vid klass II-dammar, dels för att dessa dammar säkert skall klara ett 100-årsflöde, dels för att ett dammras i en klass II-damm kan innebära ett koncentrerat frisläppande av en mängd drivgods, vilket ofta kan ge ett extra riskmoment för nedanförliggande dammar. I rapporten rekommenderas vidare fortsatt utvecklingsarbete inom området.

Drivgodsfrågorna är viktiga och bör uppmärksammas i det fortsatta arbetet med anpassning av dammar till Flödeskommitténs riktlinjer och i arbetet med gemensamma riktlinjer för dammsäkerhet. Inventeringar av källor till drivgods bör också genomföras.



Figur 3.14. Drivgods uppträdande vid en grupp av öppna utskov. Ett träd mitt framför pelaren fortsätter mot pelaren, vrids runt anläggningspunkten och fastnar tvärs utskovet.

4. UTREDNINGAR OM Fyllningsdammar

4.1. Allmänt

Vid älvdimensioneringen utgår man normalt från befintliga uppgifter om kraftstationerna eller regleringsdammarna, bl a vad gäller nivå för tätkärna och utskovens avbördningskapaciteter. Det är naturligtvis mycket viktigt att dessa uppgifter är korrekta liksom att dammarna även i övrigt uppfyller förutsättningarna för dimensioneringen. Kontroll måste därför göras genom en noggrann analys av varje damm. Denna kontroll bör även avse dammens grundläggning. Dessa kontroller bör genomföras innan den valda lösningen fastställs eftersom det annars vore tänkbart att man i ett senare skede när åtgärder genomförts finner att förutsättningarna inte uppfylls och att den valda lösningen inte går att genomföra eller går att genomföra endast till stora merkostnader. Dessutom bör känslighetsanalyser göras, så att kunskap finns om vilka faktorer som har speciellt stark påverkan på förloppet.

Kontroller enligt ovan bör genomföras inte bara vad avser de nya dimensionerande flödena utan även beträffande dammsäkerhetskrav generellt. Detta gäller naturligtvis särskilt för fyllningsdammar i Flödeskommitténs riskklass I men även för dammar i riskklass II.

Nedan följer en genomgång av faktorer som särskilt bör beaktas.

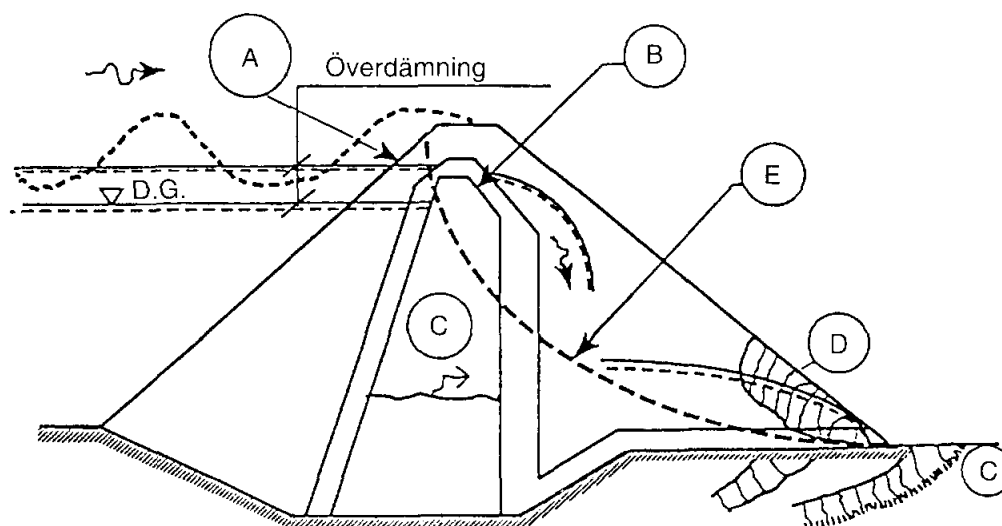
4.2. Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning

I de fall där utskovskapaciteten vid dämningens gräns är lägre än dimensionerande tillrinning medger Flödeskommitténs riktlinjer att överdämning, dvs dämning till vattenstånd högre än fastställd dämningens gräns, får utnyttjas i extrema fall för att förhindra dammbrott av nedströms belägen damm. Överdämning får dock inte göras så att den egna dammens bestånd äventyras. En utredning har genomförts för att klarställa under vilka förhållanden en överdämning kan få ske. Utredningen redovisas i rapport 15, "Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning":

Vid analys av den tekniskt säkra överdämningsnivån bör en genomgång ske av följande möjliga kritiska punkter, som kan vara avgörande för överdämningsförmågan (se fig. 4.1):

- Inverkan av vågor
- Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden
- Läckage och erosion i dammkrönet
- Erosion vid dammtån
- Stabilitet hos nedströmsslänten

I utredningen behandlas ovanstående skaderisker. Vidare ges exempel på uppskattning av erosionsmotståndet vid dammtån. Slutligen ges exempel på förstärkningsåtgärder, som kan vara aktuella för att säkerställa önskad överdämningsförmåga.



- A) Ytlig erosion i dammens uppströmsslänt och krön
- B) Läckage och inre erosion i dammkrönet
- C) Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden
- D) Erosion vid dammtån
- E) Stabilitet hos nedströmsslänten

Fig. 4.1.

Erfarenheter från bestämningar av överdämningsförmågan, för befintliga dammar där ovanstående skaderisker studerats, visar att även andra faktorer kan bli avgörande för överdämningsförmågan och erforderligt fribord på dammen. Vid överdämning kan kritiska punkter finnas, som beror på dammens konstruktion och kondition, som är unika för varje anläggning. Exempel på sådana belastningar och faktorer kan följande vara:

- Dammkrönets nivå, erosionsskydd och/eller dammsektion överensstämmer inte med vad som anges på byggnadsritningarna antingen på grund av att sättningar inträffat eller på att dammen aldrig byggdes exakt som ritningarna visar. I många fall saknas också relationsritningar, dvs (ritningar som även visar avvikelser från konstruktionsritningar, "as built").
- Belastningsfallet med en extrem vind då magasinet ligger på dämningens gräns kräver större fribord än belastningsfallet överdämning i samband med dimensionerande flöde och den vindhastighet som man enligt flödeskommitténs tillägg till riktlinjerna skall räkna med vid ett sådant tillfälle.
- Svagheter, t ex onormalt läckage, som finns i dammen redan då magasinets nivå ligger vid dämningens gräns, medför att ytterligare belastningar i form av överdämning inte kan tillåtas utan föregående undersökningar och eventuella förstärkningar.

Ovanstående erfarenheter visar att för att kunna bestämma överdämningsförmågan för en damm behövs en noggrann kännedom om hur dammen verkligen är byggd och i många fall blir det nödvändigt med relativt omfattande arkivsökningar i kombination med fältundersökningar för att t ex upprätta relationsritningar och bestämma egenskaperna hos ingående material i dammkrönet. Som ytterligare hjälp har det beskrivna arbetssättet tillämpats på två specifika dammanläggningar, vilka finns hos respektive dammägare.

4.3. Inverkan av vågor

Vid dimensionering av nya dammar liksom vid kontroll av befintliga dammar måste hänsyn tas till den inverkan vågor kan ha. Vågornas inverkan på en damms uppströmsslänt beror på deras storlek, riktning och varaktighet samt dammens förmåga att tåla dem. Om överspolning inträffar beror på vågornas storlek och vattnets nivå samt dammens fribord. Överspolningens inverkan på dammen beror på dammens tålighet och storleken och antalet vågor som överspolar dammen. En korrekt beräkning av vågstorlekar är därför ett viktigt led i anpassningsarbetet.

Vågor beräknas som en signifikant våghöjd, utifrån vilken en dimensionerande våghöjd kan bestämmas, vilken är olika vid bestämning av erosionsskydd och av uppspolningshöjd. Vid beräkningen måste hänsyn tas till den snedställning av magasinet som vinden förorsakar. Flödeskommitténs riktlinjer anger vilken vind som skall användas i kombination med det dimensionerande flödet. Dessutom skall dammen även dimensioneras för fallet med vattennivå vid dämningegräns kombinerat med en högre vind (en vind med en längre återkomsttid).

För bestämning av den signifikanta våghöjden finns några olika metoder och för att finna den som är mest lämpad för svenska förhållanden har en utredning genomförts. Vidare har en utredning gjorts av hur fyllningsdammars uppströmsslänt bör dimensioneras och en utredning av fyllningsdammars förmåga att tåla överströmning.

Nedan redovisas dessa rapporter:

4.4. Vågor i vattenkraftmagasin

Utredningen kring metodik för att beräkna effektiv stryklängd och signifikant våghöjd redovisas rapport 10, "Vågor i vattenkraftmagasin":

Beräkning av vågstorleken på vattenområden med begränsad bredd och längd, t ex kraftverksmagasin, brukar utföras med en metod angiven av Saville (1962), föreslagen i bl a Vattenfalls handbok: Jord- och stenfyllningsdammar (1988). En alternativ metod, rekommenderad av United States Bureau of Reclamation, USBR (1992), ger våghöjder som är 20–30 % större än vad Savilles metod ger vid vindhastigheter och stryklängder av praktiskt intresse. En genomgång av bakgrunden till de två metoderna visar att Savilles metod är baserad på våg- och vindmätningar i vattenområden med dimensioner av samma storleksordning (längd = 5–15 km och bredd = 1–3 km) som många svenska kraftverksmagasin, medan metoden enligt USBR (1992) grundar sig på mätningar i större vattenområden. Vågstorleksberäkningar på kraftverksmagasin

med ungefär de ovan angivna dimensionerna bör därför utföras med Savilles metod. Vid större vattenområden är det möjligt att metoden ger ett något för lågt värde på våghöjden.

Vid bestämning av dimensionerande vind är man i allmänhet hänvisad till vindregistreringar från andra platser. Transformation av dessa uppgifter till aktuellt kraftverksmagasin kan utföras med en statistisk modell om det finns lokala vindregistreringar som täcker åtminstone några stormtillfällen.

En korrekt beräkning av våghöjden är viktig ur dammsäkerhetssynpunkt, eftersom denna ofta blir styrande vid dimensionering av dammars fribord.

4.5. Erosionsskydd av uppströmsslänt

En viktig faktor för dammsäkerheten är stabiliteten hos fyllningsdammars erosionsskydd. En utredning kring detta redovisas i rapport11, "Erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänter":

Fram till 1988 har det i Sverige inte funnits några speciella riktlinjer om hur fyllningsdammars erosionsskydd ska dimensioneras, utan dimensionering har skett enligt bl a de riktlinjer som används inom hamnbyggnadstekniken. År 1988 utgav Vattenfall en handbok "Jord- och stenfyllningsdammar" [3] som innehåller riktlinjer för dimensionering av erosionsskydd.

Vid anpassning av dammar till Flödeskommitténs riktlinjer kan överdämningar bli aktuella och detta kan leda till att erosionsskydd behöver kompletteras och förstärkas. I utredningen om erosionsskydd redovisas förslag och rekommendationer på dimensionering och utförande av erosionsskydd för nya fyllningsdammar och vid förstärkning av befintliga erosionsskydd så att acceptabel stabilitet erhålls (se fig. 4.3, 4.4, 4.5).

I utredningen redovisas hur stabila erosionsskydd bör utformas med hänsyn till dimensionerande våghöjder och uppspolningshöjder, vilka beror av vindhastighet, effektiv stryklängd och signifikant våghöjd. Vid dimensionering föreslås olika värden på vindhastigheter användas beroende dels på dammarnas geografiska läge och dels på om beräkningarnas syfte är att dimensionera sten/blockstorlek i erosionsskydd eller dammars fribord.

En jämförelse visar att riktlinjer för dimensionering av erosionsskydd i Vattenfalls "Jord- och stenfyllningsdammar" har god överensstämmelse med bestämmelser i de norska "Forskrifter for dammer".

En utmärkt typ av stabilt erosionsskydd är exempelvis ett utförande med två lager av långsmala block med längdaxeln i huvudsak vinkelrät mot uppströmsslänt och med blocken förlagda i ett ordnat stabilt förband (se fig 4.4). Denna metod har företrädesvis använts på dammar i Norge (i Sverige förekommer normalt inte dylika block).



Figur 4.2. Skador i erosionsskydd.



Figur 4.3. Utläggning av block i uppströms erosionsskydd med grävmaskin vid nybyggnad av stenfyllningsdamm.

Erfarenheten visar på ett stort behov av en översyn av erosionsskydden på befintliga dammar, varför en sådan rekommenderas starkt, såväl beträffande dimensionering som aktuellt skick (se fig. 4.2). Därtill kan det finnas behov av fortsatt utvecklingsarbete, t ex utveckling av metoder för att förstärka befintliga erosionsskydd vid dammar där lämplig sten, vari även innefattas beständighet, inte finns tillgänglig.



Figur 4.4. Utförande av erosionsskydd med ytlager av stabilt ordnade långsmala block.



Figur 4.5. Erosionsskydd med ytlager av oordnad fyllning.

4.6. Överspolning av dammkrön

En fyllningsdamms förmåga att motstå dimensionerande vågor beror dels på fribordet, men även på hur dammen klarar enstaka vågor som slår över dammkrönet. Beräkning i samband med anpassning till Flödeskommitténs riktlinjer för dammar i riskklass I måste, som framgått ovan, göras dels med vattenytan vid dämningssgräns, dels vid eventuell överdämning. I bägge fallen ökas nivån med ev. snedställning av magasinets vattenyta. Utredningen redovisas i rapport 12, "Fyllningsdammars förmåga att tåla överspolande vågor":

En studie har gjorts för att klarlägga vad som krävs av stödfyllningen i fyllningsdammars dammkrön, nedströmsslänt och nedströmstå för att motstå erosion vid överspolande vågor. Studien avser därmed också att ge en indikation av hur materialet i dammkrönet och stödfyllningen påverkar kravet på fribord.

Ett underlag för bedömning av erforderligt minsta fribord fås genom att beräkna mängden vatten, som förs över dammkrönet på grund av överspolande vågor samt stabiliteten mot vågerosion hos dammkrönet och stabiliteten hos dammens nedströmsslänt och nedströmstå mot den överspolande vattenmängden.

I studien har en genomgång gjorts av teoretiska samband för beräkning av vilka vattenmängder som förs över krönet av fyllningsdammar på grund av överspolande vågor. Det konstateras att resultatet av sådana beräkningar är påtagligt osäkert. Den metod som föreslås komma till användning för sådana beräkningar bedöms ge en bild av storleksordningen på flödet. Den överspolande vattenmängden ökar snabbt med storleken på de ankommande vågorna. Det är därför av betydelse för noggrannheten i slutresultatet att vågstorleken bestäms korrekt.

Den metod som nämns i studien för dimensionering av sten i dammkrön mot erosion av överspolande vågor kan användas för grova uppskattningar. Även här är osäkerheten stor i beräknade värden.

Vattenflödet på dammens nedströmsslänt på grund av överspolande vågor minskar successivt när vattnet tränger ned i stödfyllningen, som oftast är genomsläpplig. Effekten antas medföra att, vid lika material i krönet som i nedströms stödfyllning, krönet eller nedströmstån eroderar före ytmaterialet i nedströmsslänten. Om stödfyllningen består av mer finkornigt material, t ex sand eller sandigt grus, kan dock portryck uppstå i slänten, som medför otillräcklig stabilitet mot ytliga skred. Återkommande överspolning av krönet kan därför inte tillåtas, om stödfyllningen utgörs av sådant material.

Vatten, som spolats över och genom dammkrönet ovan tätkärnan i en damm, leds vid genomsläpplig stödfyllning ned i fyllningen och strömmar ut i någon lågpunkt längs dammtån. Därvid bildas ett källsprång. Läckagemängden i utströmningspunkten beror på hur topografin i området leder vattnet mot lågpunkter i terrängen. I studien föreslås ett samband för beräkning av erforderlig stenstorlek i nedströmstån för att undvika erosion.

För att ge en bild av hur stor mängd vatten som transporteras med överspolande vågor, och de krav på erforderlig stenstorlek i stödfyllningen som blir följden, redovisas i studien beräkningsexempel för en typisk jord- eller stenfyllningsdamm. Därvid har dammens fribord förutsatts vara 2,0 m resp. 3,0 m. För vågberäkningarna har förutsatts, att dammagasinet medför en effektiv stryklängd av 5 km.

Resultaten från beräkningsexemplet antyder, att det kan finnas marginaler i fribord på befintliga fyllningsdammar, om krön och bakslänt utförts med erosionssäker fyllning.

I studien föreslås även att fortsatta undersökningar i form av verifierande numeriska datorsimuleringar utförs i syfte att upprätta anvisningar för dimensionering av fribord hos dammar byggda med olika material.

För dammar som har dålig förmåga att tåla även enstaka överspolande vågor och otillräckligt fribord, kan förstärkningsåtgärder erfordras eller ett skydd (t ex en betongbarriär) mot vågöverspolning byggas (se fig. 4.6).



Figur 4.6. Vågskydd (parapet) för att undvika överspolning av dammkrön.

4.7. Inverkan av överdämning

Överdämning är som framgått ovan ett sätt att dämpa ett flöde eller att höja avbördningskapaciteten hos utskoven. En överdämning kan även uppkomma till följd av felfunktion i t ex utskovsluckor. Det är således viktigt att känna den nivå till vilken överdämning högst kan ske utan att erosion påbörjas vid tät kärnans överkant eller i ovanliggande filter. Utredningar har därför gjorts beträffande filtrets funktion i samband med överrinning över tät kärnan och av stabiliteten hos stenfyllningsdammar vid genomströmning.

4.8. Erosion i tät kärnans krön

Utredningen avsåg inledningsvis att beskriva riskerna för erosion av tät kärnekrönet om vattnet skulle stiga så högt att filtret genomströmmades. Den utvidgades senare till att även ge en mer generell översikt, analys och granskning av etablerade kriterier för säker filterfunktion vad gäller bredgraderade basmaterial såsom t ex morän för strömning parallellt med men även vinkelrätt mot kontaktytan mellan basmaterial och filter. Utredningen redovisas i rapport 14, "Geomekaniska filter och erosion i tät kärnans krön":

I utredningen sammanfattas vissa valda teoretiska och experimentella undersökningar inom området granulära filter och geomekaniska filterprocesser. Syftet har varit att särskilja och föreslå lämpliga dimensioneringsformler för olika typer av filterproblem med hänsyn till graden av stabilitet, typ av hydraulisk belastning, gradering, filtertjocklek och inverkan av kohesion. Härvidlag särskiljs på strömning parallellt med och vinkelrätt mot kontaktytan mellan filter samt basmaterial (det eroderbara materialet), kohesiva jordar och friktionsmaterial, horisontella och vertikala filtertyper, samt geometriska och hydrauliska filterkriterier.

Ett geometriskt filterkriterium säkerställer att basmaterialet efter en initial, liten volymförlust är stabilt oavsett storleken av den hydrauliska belastningen som ansätts över den utvecklade filterkakan. Sherard (1984a) fann att likheten $D_{15}/d_{85} = 9$ motsvarar det geometriska filterkriteriet om flödet är vinkelrätt mot filterytan. För kohesiva basmaterial kan det kritiska kornstorleksförhållandet vara så högt som 60. Om flödet är parallellt med filterytan, så hindras inte erosion i samma utsträckning av mekaniskt tilltäppning, vilket leder till kornstorleksförhållandet för friktionsmaterial är någonstans i intervallet 6 till 8 när både ytan och strömningen är horisontella.

Av ekonomiska eller praktiska skäl kan hydraulisk filterdimensionering tillämpas genom att inte helt uppfylla de geometriska filterkraven och som en kompensation för denna förenkling anpassa materialvalen till den dimensionerande hydrauliska belastningen. Eftersom basmaterialet utsätts för en liten men fortskridande erosion vid ett sådant konstruktionsutförande bör effekten av denna ses i relation till konstruktionens förväntade livslängd. Successiv filterbildning av månggraderade basmaterial leder dock, i olika hög grad, till en avtagande erosion med tiden, vilket är en väsentlig faktor för det hydrauliska filtrets funktionsduglighet. Den föreliggande studien omfattar därför laboratorieexperiment av filterbildning av månggraderade basmaterial med strömning parallellt med en horisontell filteryta. Detta filterproblem är aktuellt till exempel vid strömning över tät kärnan eller ovanpåliggande sandfilter i en fyllningsdamm samt för erosionsskydd av kanalbottnar.

Med utgångspunkt från en känd kornfördelningskurva för basmaterialet kan ytan av basmaterialet som exponeras för strömmande vatten och är tillgänglig för erosion beskrivas som en funktion av filterbildningen och indirekt till erosionsdjupet i basmaterialet. Den tillgängliga ytan avtar med fortskridande erosion och därigenom fortskridande filterbildning. I utvärderingen söktes sambandet statistiskt (multipel linjär regression) mellan en dimensionslös parameter som beskriver transportintensiteten av basmaterialet, den tillgängliga ytan och ytterligare en dimensionslös parameter som beskriver den hydrauliska belastningen. De båda dimensionslösa parametrarna har härletts ur fysikaliska betraktelser. Transportsambandet har verifierats av de experimentella resultaten inom intervallen:

$$1,11 < d_{100}/d_{85} < 4,43 ; \quad 0 < x/d_{85} < 30; \quad 0 < J < 40$$

och

$$d_{85}/D_{15}=0,084$$

Transportsambandet kan användas för att kvantifiera erosionsprocessen på en tät kärnas överyta som överströmmas av vatten, något som demonstrerades av Wörman & Skoglund (1992).

En slutsats som kan dras är att filter kan fungera även om filterkriterierna inte är helt uppfyllda, men det går inte att bortse från att på längre sikt sker materialtransport. Det bör dock noteras att studien främst avser strömning parallellt med basmaterialet. Under en högflödessituation är kortvarig överdämning närmast aktuellt och rapporten tyder på att i vissa fall detta kan accepteras.

4.9. Stenfyllningsdammar vid genomströmning

En utredningen om dessa frågor redovisas i rapport 17, "Stenfyllningsdammars stabilitet vid genomströmning":

Stenfyllningsdammar i Norge och Sverige har i princip en likartad uppbyggnad med tatkärna av morän, vilken skyddas mot erosion av omgivande filter av sand på såväl nedströms- som uppströmssidan. Utanför sandfiltret finns övergångslager med något grövre massor och ytterst stenfyllning, som oftast består av sten utan speciella krav på sortering. I princip skall varje lager verka som ett filter för innanförliggande lager.

En viss mängd vatten sipprar alltid igenom tatkärnan. Om detta läckage plötsligt ökar (utan samband med ändring i magasinsnivån) kan detta vara ett tecken på att en erosionsprocess inletts. Om läckvattnet är färgat (grumligt) innehåller det suspenderat material och det finns anledning att tro att detta kommer från tatkärnan och så länge det är färgat pågår en materialtransport från tatkärnan och utvecklingen måste följas noga av de dammansvariga. I bl a denna situation är det av stort värde att veta vilket läckage dammen tål ur stabilitetssynpunkt med hänsyn till skador i dammtå och i nedströms stenfyllning.

En annan situation, som är av speciellt intresse i samband med översyn av dammar med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer, är om vatten strömmar över tatkärnan och in i dammkroppen, vilket hypotetiskt kan tänkas ske vid mycket högt flöde, vid igensättning/blockering av utskov eller vid ett dammbrott uppströms. I rapporten diskuteras de olika fall som uppstår om vattnet rinner genom filtret, övergångslagret eller stenfyllningen ovanför tatkärnan eller över dammens krön och visas hur beräkningen kan göras. Vidare visas hur stabiliteten beräknas för dammkrönet, tåstenarna och för stödfyllningen av sten och till vilken nivå vattnet i magasinet kan stiga innan dammbrott sker (se fig. 4.7).

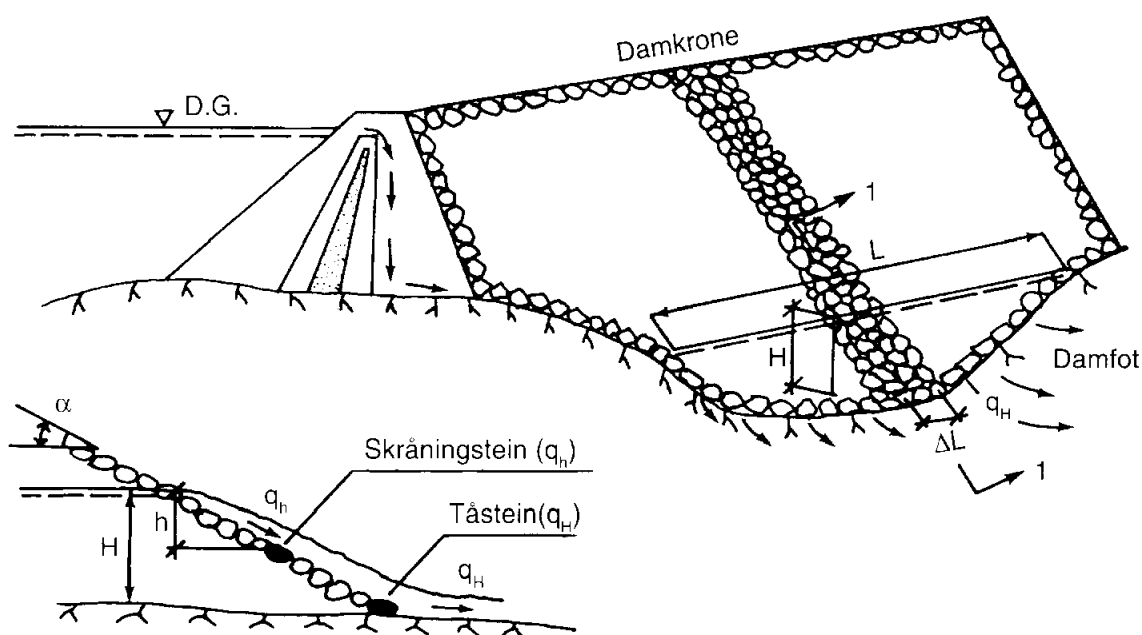
Viktiga faktorer för en stenfyllningsdamms förmåga att klara genom- och överströmning är stenstorlek vid dammtå och i stenfyllningen liksom vattennivå nedströms. Vid överströmning bedöms vattenströmningen genom filtret oftast vara försumbar, varför det är viktigt att noga fastställa nivå för filtrets överkant. Vid analysen är det

viktigt att ta hänsyn till alla de faktiska förhållandena för den aktuella dammen, som exempelvis vattnets strömning i sidled.

Ett sätt att förbättra en damms stabilitet vid genom- och överströmning är att lägga ut en stödbank med större stenar vid dammtån och nedre delen av stödfyllningen.

Behov finns av fortsatt utvecklingsarbete beträffande bl a simulering av flödesförlopp i nedströmsfyllning, varvid möjlighet även finns att göra jämförelser med de försök beträffande stenfyllningens dränagekapacitet, vilka genomförts hos BC Hydro i Kanada.

Det kan kommenteras att, vad gäller stenfyllningsdammar grundlagda direkt på berg, finns det inget känt fall, där dammbrott inträffat på grund av inre erosion.



Snitt 1-1

Figur 4.7.

4.10. Filter i fyllningsdammar

Vid överdämning utsätts en fyllningsdamm för större belastningar än tidigare och det är därför naturligtvis viktigt att dammen därvid har tillräckliga marginaler för att tåla denna ytterligare belastning utan att brista. En fördel i sammanhanget är naturligtvis att överdämningen endast kommer att pågå under en begränsad tid. Den hastighet med vilken överdämningen kommer att ske är också av betydelse vid bedömningen, eftersom en långsam höjning av vattennivån är fördelaktigare än en snabb.

Tätkärnan är naturligtvis avgörande för dammens funktion, men tätkärnan är i sin tur beroende av tillräckligt bra filter. **Uppströmsfiltret** kan sägas ha till funktion dels att förhindra att material förs från tätkärnan ut i magasinet, dels att vid behov förse tätkärnan med ersättningsmaterial, exempelvis om en borttransport av finmaterial från tätkärnan av

någon anledning skett. **Nedströmsfiltrets** primära uppgift är att förhindra borttransport av finmaterial från tät kärnan.

För dammens funktion under en överdämning kan därmed nedströmsfiltret ha en stor betydelse. Ett dåligt nedströmsfilter kan innebära dels risk för att tät kärnan redan har förlorat finmaterial och därför har en nedsatt funktion, dels risk att det förhöjda vattentrycket vid överdämningen initierar en borttransport av finmaterial.

Mot bakgrund av ovanstående har därför dels en inventering gjorts av nedströmsfilter hos svenska fyllningsdammar, dels en analys av vilken betydelse resultatet av inventeringen har för dammarnas funktion. Inventeringen av kornfördelningen hos nedströmsfilter i fyllningsdammar och analysen redovisas i rapport 13, "Filter – inventering och funktionsanalys":

Inventeringen har gjorts av kornfördelningen för nedströmsfiltret hos fyllningsdammar byggda efter år 1950 genom att studera uppgifter från arkiv hos VBB Anläggning och Vattenfall. De flesta uppgifterna kommer från provtagning av utlagt filter i samband med byggandet, men i några fall finns också information från efterprovningar gjorda i samband med skador på dammar.

I analysen görs en genomgång av hur filterreglerna förändrats sedan de första reglerna tillkom efter Terzaghis studier på 1940-talet. Under den huvudsakliga byggnadsperioden för svenska dammar har de regler, som finns beskrivna i Vattenfalls "Jord-dammshandbok" från år 1958, tillämpats. Det fanns dock oklarheter i reglerna och inga anvisningar gavs om maximala stenstorleken för filtermaterialet. Kornfördelningen för filtren kom härigenom att variera inom vida gränser och i många fall tilläts att filtret hade ett icke specificerat relativt stort innehåll av grus och sten.

Nu gällande anvisningar för dimensionering av filter finns redovisade i handboken "Jord- och stenfyllningsdammar" [3]. Allmänt gäller att tät kärnor av morän kräver finkornigare nedströmsfilter än vad tidigare regler föreskrivit. För att undvika stenanhopningar i samband med utläggningen har också den maximala stenstorleken begränsats.

Inventeringen omfattar uppgifter om kornfördelningen för nedströmsfiltret på totalt 44 fyllningsdammar. Resultatet visar att kornstorleken D_{15} vid de flesta anläggningarna inte uppfyller nu gällande filterregler. Vid några av anläggningarna kan dessutom konstateras att största stenstorleken för filtermaterialet är större än 60 mm, vilket är övre gränsen i nu gällande regler. För många av anläggningarna saknas också arkivuppgifter om maximala stenstorleken.

I denna studie har inte gjorts någon systematisk genomgång av vilka dammar som uppvisar problem i form av läckage eller sjunkgropar. Inventeringen ger dock en indikation på att anläggningar där sådana skador inträffat (se fig. 4.8) har nedströmsfilter som är bland de grövsta av de filter som inventerats. Vidare finns uppgifter från undersökningar av några dammar med sådana skador att filtren där både haft en allmän grov gradering med stort D_{15} och ett stort steninnehåll, som bedöms ha medfört separation med stenansamlingar.

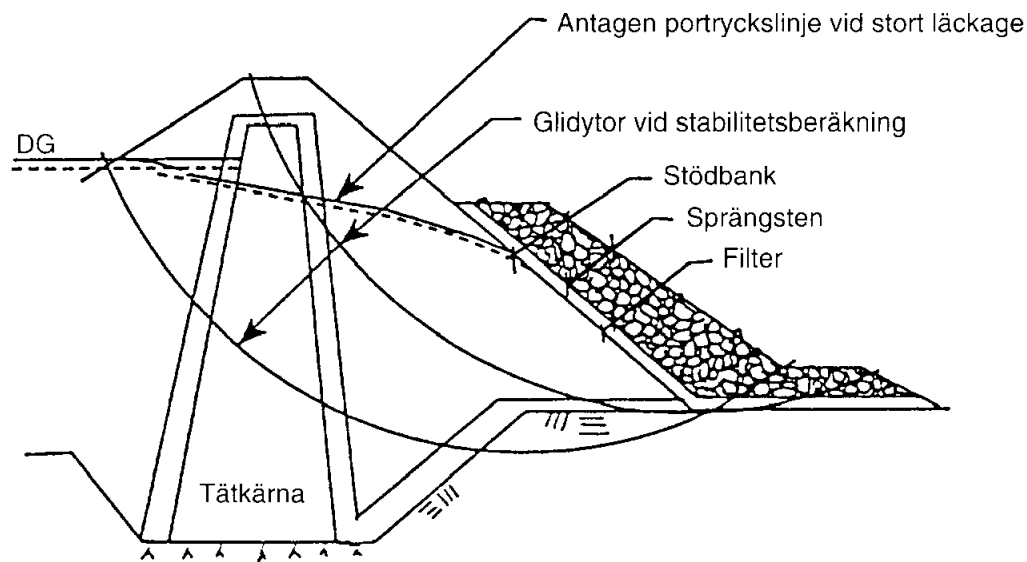
I de fall där kraven enligt de nya filterreglerna inte uppfylls, bör vaksamheten ökas vid tillsyn, inspektion och besiktning för att tidigt upptäcka begynnande inre erosion eller



Figur 4.8. Erosionskanal vid spontspets (överst) och sjunkhål på damunkrönet (underst).

läckage. Därtill kan i många fall ökad instrumentering rekommenderas – i första hand läckagemätning. Vid sådana fyllningsdammar, där stabiliteten inte är säkerställd vid stora läckage, kan förstärkning av dammtån eller utläggning av en tryckbank av sprängsten på nedströmssidan övervägas för att öka stabiliteten (se fig. 4.9).

Det bör framhållas att filtrets kvalitet är av stor betydelse även vid normala vattennivåer. Erfarenheterna visar dessutom att begränsningar bör göras utöver vad som anges i Vattenfalls senaste handbok.



Figur 4.9.

4.11. Åldersförändringar

Vid analys av fyllningsdammars förmåga att tåla nya belastningar är det naturligtvis viktigt att även ta hänsyn till de åldersförändringar som kan ha skett sedan dammen byggdes. Detta gäller naturligtvis dammen som helhet, men eftersom förändringar i stödfyllningen är lättare att upptäcka vid besiktningar etc, är det i hög grad förändringar i tätkärna och filter som är av speciellt intresse eftersom förändringar här är svåra att upptäcka. Åldring definieras som sådana förändringar som har en negativ dammsäkerhetsinverkan och som inträffar mer än 5 år efter dammens färdigställande.

I en utredning har därför dessa frågor studerats genom en inventering, som genomförts genom en enkät som sänts till dammansvariga för fyllningsdammar högre än 15 m samt de som är medlemmar i Svenska Kraftverksföreningen. Därefter har en sammanställning av svaren gjorts och analyserats. Inventeringen och analysen av åldersförändringar redovisas i rapport 16, "Åldersförändringar hos fyllningsdammar":

I Sverige finns enligt utredningen 119 fyllningsdammar, som är högre än 15 m. Om de tillfrågade konstaterat förändringar på någon lägre damm angavs i förfrågan att detta var av lika stort intresse.

Svaren som kom in visade att totalt 84 fyllningsdammar, av vilka 68 var högre än 15 m, hade någon sorts förändring konstaterats. Graden av förändring var mycket varierande.

I vissa fall hade noterats t ex små skador på erosionsskyddet, som troligen har mycket begränsad, om någon påverkan på dammsäkerheten.

Förändringarna har fördelats på 13 olika typer. Skador på släntskydd har det högsta antalet skadefall. Vidare framgår att därefter är insjunkning i dammkrön eller slänter den vanligaste typen av förändring. Sjunkgroparna har ofta angivits förekomma i kombination med andra typer av förändringar, som läckage i grunden eller genom dammkroppen.

Inre erosion är enligt internationell statistik orsaken till en stor andel av inträffade dammbrott på fyllningsdammar. Erosionen har samband med ovan angivna förändringar som visar sig i form av sjunkgropar och läckage. Dessa typer av förändringar kan härigenom i vissa fall allvarligt påverka dammsäkerheten. Läckagets storlek och de ingående materialens erosionsmotstånd påverkar risken för att förändringen förvärras.

Förändringarna har nästan samtliga upptäckts genom direkta observationer i samband med "rondning", "inspektioner" eller "besiktningar". Den planmässiga kontrollen är härigenom mycket viktig. Ytterligare instrumentering skulle dock vara önskvärd, för att härigenom få möjlighet att upptäcka förändringarna i ett tidigare skede. I första hand bedöms det finnas ett behov av ökad användning av kontinuerlig läckagemätning.

Bearbetningen av rapporterade förändringar är i första hand kvantitativ. Behov finns därför att ytterligare studera skademekanismer och samband mellan olika typer av förändringar.

Rapporten bekräftar att det med tiden inträffar vissa förändringar som kan ha betydelse för dammsäkerheten, vilket innebär att uppmärksamhet på förändringar hos fyllningsdammar generellt är viktig och speciellt vid utredningar om förmåga att tåla överdämning. Det framgår även att tillsyn, inspektioner och besiktningar är viktiga för upptäckten av skador och att ökad instrumentering i många fall kan rekommenderas.

5. UTREDNINGAR OM BETONGDAMMAR

5.1. Allmänt

Betongdammar skall naturligtvis liksom fyllningdammar kontrolleras så att de tål de belastningar som uppkommer vid den lösning som valts vid älvdimensioneringen. Inledningsvis förutsätts under dimensioneringsarbetet ofta att betongdammarna kommer att klara såväl överdämning som överrinning och att nya utskov därför inte behövs – beräkningarna avser snarast att fastställa den vattennivå som kan uppkomma. Detta stämmer ofta, men givetvis måste en kontrollberäkning och tillståndsbedömning göras i varje enskilt fall och därutöver kan det i vissa fall finnas skäl att också göra en kontroll av även dessa dammars funktion vid normala förhållanden. Speciellt kan åldringsfenomen behöva beaktas, t ex vad gäller korrosion av förankringar, såväl förspända som slaka. Det finns även skäl att göra en genomgång av de ursprungliga beräkningsförutsättningarna. Även dammens grundläggning bör kontrolleras.

5.2. Betongdammars förmåga att tåla överrinning

Utredningen kring dessa frågor redovisas i rapport 19, "Betongdammars förmåga att tåla överrinning":

En utredning har gjorts för att avgöra om och under vilka förutsättningar det är möjligt att vid betongdammar klara dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer genom överströmning. Denna 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.

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 (se fig. 5.1) 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 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 erosionskydd om skadorna skulle innebära risk för dammens säkerhet.

Rapporten visar att det även för betongdammar finns behov av en noggrann genomgång av såväl beräkningar som dammens tillstånd. Rapporten behandlar även närliggande dimensioneringsfrågor mm beträffande betongdammar.



Figur 5.1. Reparation och förstärkning nedströms utskov på grund av berg som ryckts loss.

6. UTREDNINGAR OM AVBÖRDNINGSSYSTEMET

6.1. Allmänt

Vid höga flöden skall vattnet kunna ledas vidare i älven utan allvarliga skador på någon damm (i riskklass I) (alternativt kan som framgått ovan dämpning ske genom lagring i större vattenmagasin). För dammsäkerheten är det ett grundläggande krav att avbördningsanordningarna fungerar som avsett. Detta gäller såväl vid de tidigare dimensionerande flöden, för vilka anläggningen konstruerats, som vid de flöden som Flödeskommitténs riktlinjer anger. Därtill gäller liksom tidigare att för den händelse att ett frånslag sker i kraftstationen får drivvattenföringen inte ge upphov till skador på dammanläggningen.

Tappningen av vattnet kan ske t ex genom särskilda avbördningsanordningar (utskov), som normalt hålls stängda med någon typ av avstängningsanordning eller genom att dammen på någon sträcka är konstruerad för att tåla överströmning. Betongdammar grundlagda på berg har ofta god förmåga att tåla överströmning. En ytterligare möjlighet är att konstruera en del av dammen så att den eroderas bort vid ett visst förutbestämt högt flöde (eller snarare vid den vattennivå, som blir följden av detta flöde) och därigenom avbördning kan ske utan att dammen i övrigt skadas. En sådan dammdel kallas fuseplug. Ett annat exempel på fuseplug är en del av en betongdamm, som är avsedd att sprängas bort vid ett flöde som överstiger de ordinarie utskovens kapacitet.

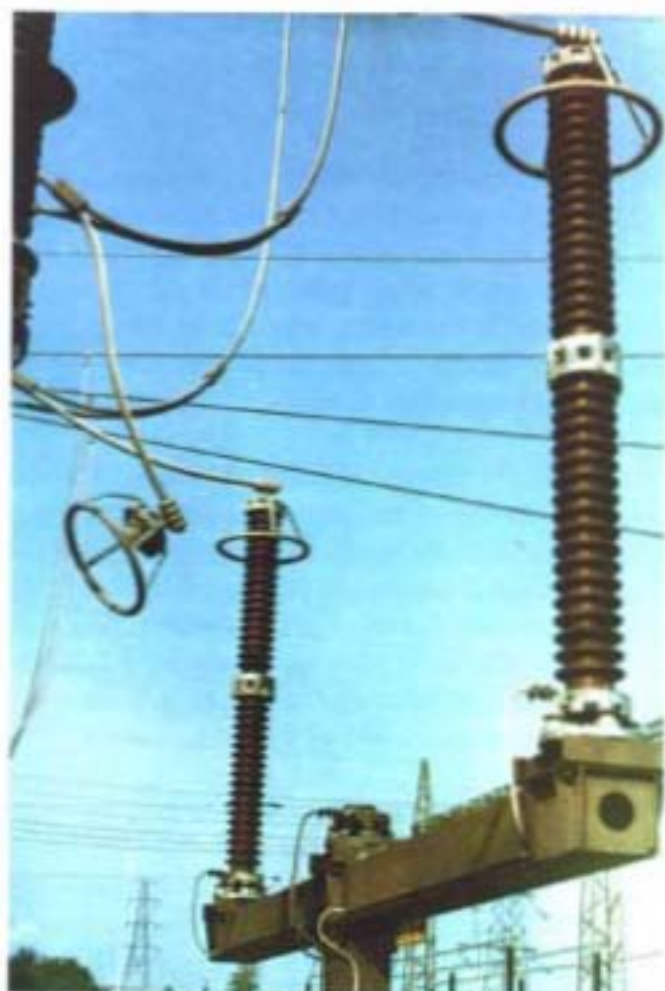
Avstängningsanordningen utgörs normalt av luckor i stål eller vid mindre anläggningar av trä, t ex spettluckor. De utskov och luckor som är aktuella i samband med höga vattenföringar finns i en mängd olika former; därtill kan finnas luckor avsedda för andra ändamål, t ex avtappning av det sista vattnet i magasinet men som ej är avsedda att öppnas vid fullt vattentryck och därmed inte kan medräknas. Även flottningsluckor som använts för timmerflottning förekommer men har en begränsad kapacitet.

Vattenvägen nedströms om utskoven måste givetvis också tåla inverkan av det strömmande vattnet under den aktuella tiden.

Flödeskommitténs riktlinjer anger att endast avbördningen hos de utskovsanordningar får medräknas, som med full säkerhet kan tas i anspråk med kort varsel. Naturligtvis skall de även ha den kapacitet som förutsätts i dimensioneringsarbetet.

Uttrycket ”med full säkerhet kan tas i anspråk med kort varsel” har diskuterats och den tolkning, som senare gjorts kan, beträffande dammar i riskklass I sammanfattas till att det bör finnas redundans beträffande kraftförsörjning för att öppna luckorna och att med kort varsel skall ses i relation till stighastigheten hos vattenmagasinet i dammen och dammens förmåga att tåla en tillfällig överdämning. Kraven kommer att preciseras i riktlinjer, som utarbetas gemensamt inom kraftindustrin.

Stighastigheten beräknas under älvdimensioneringen utifrån den dimensionerande sekvensen. Är stighastigheten låg så finns möjlighet att vissa insatser kan hinnas med, exempelvis inkoppling av mobil kraftförsörjning. Det kan noteras att det dimensionerande flödet enligt Flödeskommittén har en viss uppladdningstid och att det därför finns möjlighet att vidtaga åtgärder som t ex ökad bemanning av stationerna. Samtidigt finns det begränsningar i



Figur 6.1. Ventilavledare för S-fasen har exploderat vid åsknedslag. Bilden avser påminna om risken för att ett åsknedslag orsakar fränslag i en kraftstation, varvid drivvattenföringen skall avbörjas genom utskoven. Det är naturligtvis då nödvändigt att utskovsfunktionen inte också slagits ut av åskan, dvs att kraftförsörjning, kontroll- och manöverystem har ett bra åskskydd.

resurserna, bl a vad avser personal, eftersom ett dimensionerande flöde berör flera eller alla kraftstationer och regleringsmagasin i den aktuella älven.

Därtill finns i vissa fall krav beträffande redundant kraftförsörjning (eller annat system) för att öppna luckor, som klarar att avbörda drivvattenföringen vid fränslag i station. Stig-hastigheten vid drivvattenföring är naturligtvis avgörande i detta fall och detta har i många fall lösts genom att två separata system för kraftförsörjning finns – ett växelströmssystem och ett likströmssystem, som normalt verkar på olika luckor.

Vad gäller krav på luckors tillgänglighet finns även skillnader beroende på geografiskt läge och därmed sammanhängande temperaturförhållanden. Sannolikhet för ett högt flöde samtidigt med förhållanden, som innebär att luckor kan vara fastfrusna, kräver analys för varje fall. Denna typ av händelse kan vara mer sannolik i landets södra delar.



Figur 6.2. Isbildning på lucka.

Vid arbeten med utskovsluckor och vattenvägar, är det viktigt att man beaktar dammsäkerhetsaspekterna genom att göra en noggrann analys innan arbetena påbörjas. Exempel på åtgärder kan vara att inte arbeta med flera luckor samtidigt, att ha reservkraftaggregat tillgängligt vid lucka, att ha ökad personell beredskap mm. Även en genomtänkt planering kan väsentligt minska riskerna, t ex att vid byte av wirar till lucka ha de nya på plats och kontrollerade innan de gamla demonteras och kanske att endast demontera en wire och montera den nya innan nästa demonteras.

Avsikten med denna rapportserie är inte att fastställa krav beträffande t ex redundans mm för dammar i olika riskklasser. Detta kommer att göras i ett separat projekt (RIDAS) [10], som pågår inom kraftindustrin och till vilket detta projekts rapporter utgör ett underlag.

I rapportserien ingår rapporter om hur den verkliga avbördningskapaciteten hos utskov fastställs, om utskovsluckors funktionssäkerhet och om förutsättningar mm för användning av sk fuseplugs för att öka avbördningskapaciteten. Tidigare har Kungl. Tekniska Högskolan, avd. för vattenbyggnad, med stöd från kraftindustrin utrett möjligheten att använda hävertutskov för samma syfte, vilken kan vara av intresse [11].

Nedan följer en sammanfattning av rapporterna inom området och en studie av tekniska möjligheter att avbörda genom turbiner, vilken genomförts inom detta utredningsarbete.

6.2. Verklig avbördningskapacitet

Vid arbetet med anpassning av dammarna till nya dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer är det naturligtvis viktigt att korrekta värden beträffande utskovens avbördningsförmåga används. Avbördningen kommer i normalfallet att ske vid en högre vattennivå (och högre flöde) än vad som ursprungligen förutsatts. Detta innebär normalt att befintlig avbördningskurva måste extrapoleras. En utredning har därför gjorts om hur den verkliga avbördningskapaciteten bör bestämmas, vilken redovisas i rapport 5, "Verklig avbördningskapacitet":

I utredningen har två begrepp införts när det gäller utskovs avbördningskapacitet. Den hydrauliska avbördningskapaciteten avser utskovets kapacitet utan hänsyn till erosion, översvämning etc på utskovet eller dess nära omgivning. Den tekniska avbördningskapaciteten är utskovets kapacitet när hänsyn tas till dessa begränsande faktorer. Erfarenheterna visar att den tekniska avbördningsförmågan hos utskov i svenska dammar ofta är betydligt lägre än förväntat.

Orsaken till detta kan vara alltför schablonmässiga bedömningar av den hydrauliska kapaciteten eller olika tekniska begränsningar (i vissa fall brister i detaljutformningen) som gör att den hydrauliska kapaciteten inte kan utnyttjas. Vanliga begränsningar är höga vattennivåer, kavitation eller erosion.

Utskoven och dess vattenvägar har ofta inte konstruerats för att fungera under längre tid med hög tappning eftersom man förväntat sig att sådana förhållanden bara skulle uppträda mycket tillfälligt. Genom Flödeskommitténs riktlinjer har emellertid dimensionerande flöden för många dammar fått såväl högre topp som längre varaktighet, vilket innebär att den befintliga konstruktionernas förmåga att uppfylla de idag aktuella kraven måste kontrolleras.

Den tekniska utskovskapaciteten kan börja avta efter ett antal decennier på grund av att utskov, vattenvägar och energiomvandlare är beroende av funktionen hos installerade bergförankringar. I dessa fall bör erforderliga förstärkningar genomföras för att återställa konstruktionen i avsett skick snarare än att reducera förutsatt avbördning.

Erfarenheterna från utförda provtappningar visar att provtappningar är mycket värdefulla när det gäller att bestämma utskovens tekniska avbördningskapacitet. Vid flera tillfällen har provtappningar lett till att man insett behovet av ombyggnader och förstärkningar av utskov och anordningar i nära anslutning till utskoven (se fig. 6.10).



Figur 6.3. Provtappning i Motala kraftstation (inga skador).

Likasa har det i några fall visat sig att risk funnits för att vattnet skulle nå tillfartstunnlar, svallschakt eller liknande och denna väg kunna nå stationen.

En särskild faktor som kan påverka utskovsens avbördningsförmåga är drivgods, vilket analyserats i en separat utredning i denna serie [se rapport nr 6].

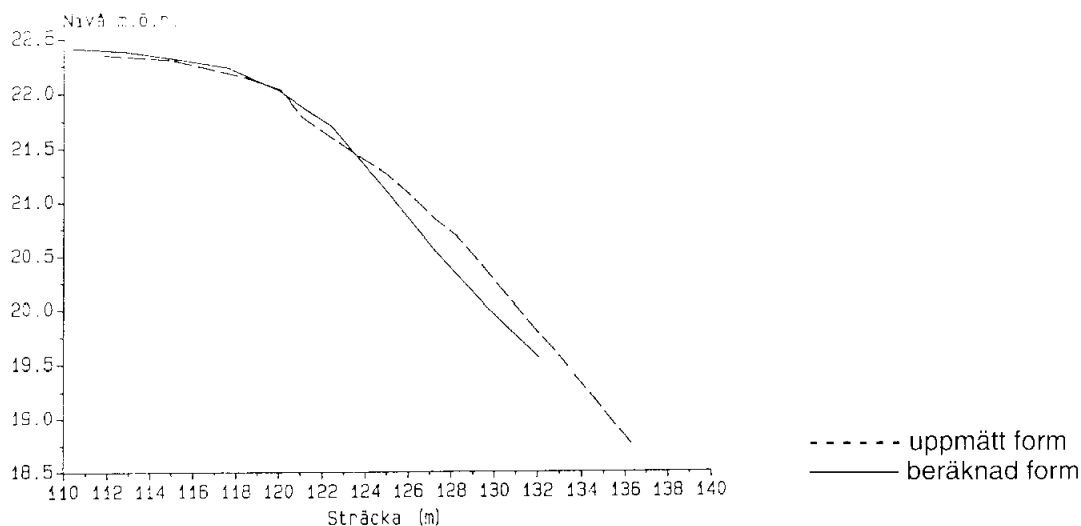
För att ta fram ett alternativ till fysisk modellering vid bestämning av utskovs hydrauliska avbördningskapacitet och i viss mån också teknisk avbördningskapacitet har inom projektet utförts en matematisk modellering av ytutskoven i Trängslet och i Mellanfallet, Älvkarleby (se fig. 6.5). Dessutom redovisas en matematisk modellering av ett bottenutskov i Holmens kraftverk i Norrköping. Matematisk modellering bedöms ha en stor potential, men man får inte underskatta svårigheterna under initialskedet i utvecklingen. Det krävs tid för att bygga upp de erfarenheter som behövs för att få ett pålitligt och noggrant verktyg.

Flödesbestämning i samband med provtappning har visat sig vara svårt och den traditionella metoden med flygelmätning har gett dålig noggrannhet. För att kunna genomföra provtappningar med god noggrannhet på flödesmätningen rekommende-



Figur 6.4. Utskovet undersöktes med sjöuggla före, sedan viss avbördning skett och efter provtappningen

ras nya metoder som bygger på akustisk mätteknik. I vissa fall där förhållandena är gynnsamma bör man kunna utnyttja närliggande kraftstationers turbiner för flödesmätningen. Efter tryckningen av rapporten om "Verklig avbördningskapacitet" har försök med en ny metod inletts hos BC Hydro i Kanada. Metoden bygger på igenkänning av mönster i strömningsbilden vid passage genom två sektioner med



Figur 6.5. Älvkarleby kraftverk, utskov i Mellanfallet. Vattenytans form genom mitten av utskovet.

känt avstånd och möjliggör mätning av flödet i själva utskovet. Metoden verkar vara lovande.

I flera fall har dokumentationen av utförd provtappning varit bristfällig. Det bör vara provledarens ansvar att en bra dokumentation kommer till stånd.

Det är ibland svårt att i fält prova utskov till full kapacitet på grund av risk för skador, speciellt att prova alla utskov samtidigt liksom naturligtvis att genomföra prov från nivåer över dämmningsgräns. Man är då hänvisad till andra metoder för att bestämma kapaciteten. Fysiska modeller är noggrannast (och ofta dyrast) följt av matematiska modeller och teoretiska beräkningar.

Vid val av de utskov där man i första hand bör kontrollera utskovskapaciteten, bör man se på hur svåra konsekvenser en felaktigt uppskattad utskovskapacitet kan ge. Man bör sålunda, om det inte redan gjorts, genomföra en kvalificerad teknisk-hydraulisk granskning av samtliga utskov vid klass I-dammar. Dessutom bör man vid urvalet ta hänsyn till svårigheterna att rätt uppskatta utskovskapaciteten. De utskov, som både ger svåra konsekvenser och är svåra att rätt uppskatta utskovskapaciteten på, är särskilt angelägna att kontrollera. En översyn av utskov vid klass II-dammar bör därefter också göras.

Utredningen visar att det finns anledning att, om det inte redan gjorts, göra en översyn av utskovens avbördningsförmåga och därvid beakta de faktorer, som nämns i rapporten. Detta gäller även dammar i riskklass II, men dammar i riskklass I bör prioriteras, speciellt de som är svåra att rätt bedöma.

6.3. Utskovsluckors funktionssäkerhet

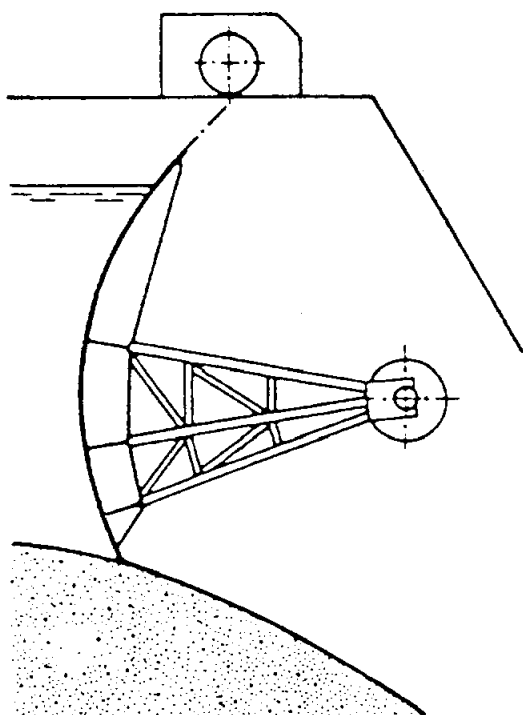
Flödeskommitténs riktlinjer förutsätter, som framgått ovan, att endast de avbördningsanordningar medräknas, som med full säkerhet kan tas i anspråk med kort varsel. En utredning har därför genomförs beträffande funktionssäkerheten hos luckor, vilken redovisas i rapport 7. "Utskovsluckors funktionssäkerhet":

Under utredningens första skede insamlades uppgifter om felfrekvenser, vanligast förekommande fel och eventuella haverier på befintliga utskovsluckor genom en enkätundersökning omfattande de större kraft- och regleringsföretagen i landet. Utredningen utökades sedan i ett andra skede till att även omfatta åtgärdsförslag och senare även felträds- och säkerhetsanalys.

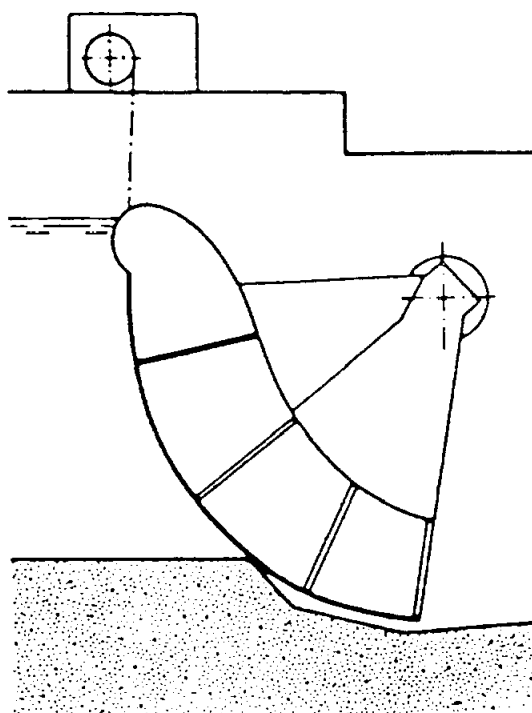
Fel- och probleminventeringarna visade att allvarigare incidenter eller haverier på grund av bristande funktioner hos luckor är sällsynta. Inom kraftindustrin pågår ett fortlöpande arbete för att vidmakthålla och förbättra hög avbördningssäkerhet. Nedan anges några områden av särskild vikt eller där problem visat sig vanliga och som därför bör uppmärksammas särskilt.

Brister i funktionen hos gränslägesbrytare är ett vanligt problem som kan leda till allvarliga störningar och i värsta fall haveri på lucka eller i maskineri. Andra exempel på orsaker till störd eller utebliven funktion är problem med lagersmörjning på segment- och sektorluckor, linbrott, fastfrysning samt bortfall av kommunikationslänkar. Drivgods kan i vissa fall tänkas fastna på ett sådant sätt att öppnande av luckan förhindras. Brister i organisation och ansvarsfördelning är en annan inte oväsentlig orsak till störningar.

Gränslägesfunktioner och systemuppbyggnad i sin helhet men särskilt för reservkraft, övervakning och katastrofskydd (KAS) bör ägnas större uppmärksamhet. Branschgemensamma rekommendationer bör utarbetas. Likaså bör uppvärmnings- och isfrihållningsutrustning övervakas, så att fel upptäcks i god tid och inte blir en överraskning, då luckan skall manövreras.



Figur 6.6. Segmentlucka.



Figur 6.7. Segmentlucka (vagglucka).

Konstruktioner och metoder för effektiv lagersmörjning på såväl nya som befintliga luckor bör utvecklas.

Gemensamma kravspecifikationer och konstruktionsanvisningar för luckor och lyftanordningar bör utarbetas inom branschen.

Översiktsschema med huvuddata för hela avbördningsfunktionen (pegel, luckor etc) bör finnas vid varje anläggning. Likaså bör enhetlig märkning av utskovsluckor i en anläggning införas då det är en förutsättning för att rätt lucka manövreras.

Likartade anvisningar för besiktningar, tillståndskontroll och tillsyn av luckor och lyftanordningar bör tillämpas inom hela kraftindustrin.

Syftet med arbetet har varit att ge underlag för analys av vanligen förekommande luck-systems säkerhet. I rapporten ges säkerhetsbedömningar och förslag rörande tekniska konstruktioner och utrustningar och poängteras vikten av genomarbetade drift- och underhållsrutiner, liksom av utbildning, övning och beredskap för extrema situationer. I rapporten diskuteras även krav på organisation för upprätthållande av god avbördnings-säkerhet. Synpunkterna kan vara av värde även mer generellt, men det kan finnas även andra acceptabla lösningar.

Med utgångspunkt från en i projektet genomförd enkät och intervjuer med driftpersonal vid ett antal kraftföretag har felträdsanalyser genomförts för olika lucktyper. Dessa redovisas kortfattat i en bilaga till rapporten och de fullständiga redovisningarna av felträden redovisas i en separat rapport, som finns hos Elforsk. Konkreta felträdsanalyser har genomförts för utskovsluckorna i Yngeredfors kraftverk (Sydkraft) och tidigare inom Vattenfall för Stadsforsens kraftverk (Vattenfall) och finns hos respektive företag.

Rapporten kommer även att användas som underlag i det gemensamma arbete som pågår inom kraftindustrin beträffande gemensamma riktlinjer för kraftföretagens dammsäkerhet, vari även ett gemensamt rapporteringssystem ingår.

6.4. Fuseplug som hjälputs-kov vid befintliga svenska dammar

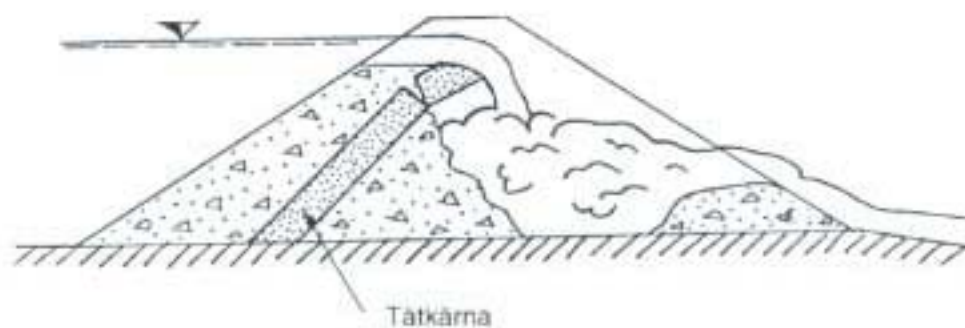
De nya riktlinjerna beträffande dimensionerande flöde förväntas innebära behov av kompletterande avbördningskapacitet vid ett antal dammar och därvid skulle utskov med någon form av fuseplug kunna vara en bra lösning. En studie kring när denna typ av utskov kan vara lämpligt och hur utformningen kan ske har därför genomförts.

Flödeskommitténs krav att endast utskov får medräknas, som med full säkerhet kan tas i anspråk med kort varsel, kan beroende på förhållandena vid aktuell damm lösas med olika tekniska system eller genom en hög beredskap. Ett alternativ kan vara att ha ett reservutskov som öppnar om ordinarie utskov inte öppnas som avsett. Detta utskov kan vara av typen fuseplug, vars aktivering kan ske automatiskt eller genom en aktiv insats.

Utredningen kring fuseplug redovisas i rapport 8, "Fuseplug som hjälputs-kov vid befintliga svenska dammar":



Figur 6.8, Eroderbar dammdel, USA. (Vänster sida något lägre för att underlätta initieringen.)



Figur 6.9. Erosionsmekanismen.

Utredningen angående fuseplug har genomförts som en generell analys av denna typ av utskov och dess möjligheter till användning som kompletterande avbördningsanordning vid befintliga dammar.

Fuseplug är en relativt ovanlig typ av utskov och tonvikt har därför lagts på att definiera begreppet och att redogöra för de typer som finns samt beskriva existerande fuseplug. Fuseplug av jord- eller stenfyllning (eroderbara dammdelar) har av flera orsaker beskrivits mer detaljerat.

Den viktigaste delarna av rapporten utgörs av rekommendationer om hur en eroderbar dammdel bör utformas när den byggs vid en befintlig damm och hur analysen beträffande behov av fuseplug som utskov kan genomföras.

Generellt har i studien för svenska dammar specifika förhållanden beaktats. De svenska vinterförhållandena medför vissa komplikationer vid användning av fuseplug (t ex långvarig tjälning), vilket tidigare är föga studerat i detta sammanhang.

Några av slutsatserna av utredningen angående användning av fuseplug för utökning av avbördningskapaciteten eller som reservutskov vid befintliga svenska dammar är följande:

Tillämpningen av Flödeskommitténs riktlinjer kan leda till att avbördningskapaciteten vid några dammar i riskklass I behöver höjas eller att reservutskov rekommenderas för att säkerställa att erforderlig avbördningskapacitet finns tillgänglig. Då de flesta av dessa anläggningar är försedda med luckor är teoretiskt sådana kompletterande utskov eller reservutskov lämpligast, som automatiskt träder i funktion (utan särskild aktivering) eller som har ett aktiveringssystem som är oberoende av de befintliga utskovens. Utskov av typ fuseplug kan därför vara lämpligt på grund av sitt sätt att fungera.

Ett avgörande villkor för tillämpning av fuseplug (*i form av eroderbar dammdel*) vid befintliga dammar är att dammen har ett stort fribord eller att det är enkelt och billigt att utöka fribordet.

De talrika faktorer som påverkar valet av utskovstyp samt mängden olika fenomen som styr en säker funktion hos en fuseplug gör att varje fall behöver studeras för sig innan man kan rekommendera en fuseplug som utskov. Teoretiska studier av fuseplugens funktion (t ex om den kommer att aktiveras som planerat), tekniska och juridiska aspekter (skador nedströms, konsekvenser av oavsiktlig aktivering) utgör vanligtvis viktiga moment i lämplighetsanalysen för en fuseplug, särskilt när den byggs vid en befintlig damm. Som analysmetod är detta inte unikt för en fuseplug, men det är viktigare för denna typ av utskov än för mer utprovade varianter.

Vid anpassningen av befintliga svenska dammar till Flödeskommitténs riktlinjer kan vid vissa dammar kompletterande utskovskapacitet eller reservutskov komma att erfordras. I dessa fall kan en fuseplug, t ex en eroderbar dammdel, vara ett alternativ. I rapporten analyseras förutsättningar för detta liksom för- och nackdelar med denna lösning. Vissa problemställningar som berörs i rapporten kan även ha intresse vid andra typer av utskov.

Olika problemställningar och lösningar som berörs i utredningen i samband med fuseplug (t ex erosionsskyddet nedströms) kan vara av intresse även vid andra typer av utskov eller för att studera genomströmning genom dammar. Studierna av funktionen hos en eroderbar dammdel kan också vara av värde vid dammsäkerhetsarbetet i allmänhet.

Vid val av lösningar är det viktigt att även behandla problem som uppstår vid oavsiktlig aktivering och vad gäller reservutskov även fallet att såväl ordinarie utskov som reservutskovet felaktligen båda öppnas. En riskstudie av alternativen kan rekommenderas.

6.5. Avbördning genom turbin

Under Flödeskommitténs arbete diskuterades hur man skulle betrakta vattenföringen genom turbinerna och kommittén beslöt, med motiveringen att den skulle reduceras på grund av hög nedströmsvattenyta, att denna inte skulle medräknas i avbördningsförmågan (under beräkningsarbetet antages bortfall ske från och med flödessekvensens nionde dag, då det extrema regnet inträffar). Ytterligare en anledning att inte tillgodoräkna sig drivvattenföringen kan vara risken för frånslag av station, för vilket sannolikheten bör vara högre under en högflödessituation än under normala förhållanden. Det kan dock finnas stationer där nedströmsytan inte inverkar eller har begränsad inverkan och vid vilka det därför finns möjlighet att utnyttja avbördning genom turbinerna som ett alternativ till att bygga ett nytt utskov. Av denna anledning har en enkel analys gjorts kring möjligheterna att utnyttja turbinvattenvägen. Observera att analysen utgår från data i en kraftstation och att resultaten därmed inte kan användas för andra stationer.

För att få en överblick över möjligheter och problem har data från en verklig station med kaplanturbin använts och alternativa möjligheter studerats att under en högflödessituation avbörda genom turbin utan nätanslutning, dvs utan generatorns bromsande inverkan. Det kan nämligen anses sannolikt att frånslag efter bortfall av nät kommer att ske.

De huvudalternativ som identifierats är:

- aggregatets löphjulsskovlar tas bort
- aggregatet låst mot rotation
- aggregatet tillåts rusa med höga varv utan att bromsas

(Därtill kan finnas alternativ med husturbindrift och felkombinerad (överöppnad) turbin, vilket dock inte studerats vidare.)

Som inriktning för studien valdes en avbördning (minst 220 m³/s) av samma storlek som drivvattenföringen. Vid ett så högt flöde att åtgärden skulle vara aktuell, uppkommer i det studerade fallet stora fallförluster nedströms (i det studerade fallet 2 m högre vattennivå än normalt). Uppströmsnivån bedöms i det aktuella fallet också öka beroende på att denna ökning behövs för att (tillsammans med avbördningen genom turbin) få tillräcklig avbördningsförmåga hos utskoven.

Vid **borttagna löphjulsskovlar** kommer flödet genom turbinen att enbart styras av ledskovelöppningen. Något modellprov som visar flödet som funktion av ledskovelöppningen har inte stått att finna, men det bedöms rent teoretiskt vara möjligt att få

ut 250 m³/s vid förekommande fallhöjder. Även i detta fall kommer troligen vibrationer att uppstå och risk finns för skador på lager, löphjulskammare, sugrör etc. Vilken metod man skall använda för att ta bort löphjulsskovlarna är beroende på vilken tid man har till förfogande, men det snabbaste och också det mest drastiska sättet torde vara att skära bort skovlarna med kolbågsskärning. Metoden bedöms vara framkomlig och realistisk, men på grund av kostnaden för att ersätta löphjulsskovlarna och riskmomentet vid demontagearbetet, som tänkes ske under vatten, inriktas den fortsatta studien på de andra alternativen.

I alternativet med **fastbromsat aggregat** och löphjulsskovlar och ledskovlar maximalt öppnade (och låsta) bedömdes, baserat på modellprov, flödet bli ca 130 m³/s. För användning av detta alternativ bör ytterligare studier göras, t ex beträffande låsningsmetoder för axeln, belastningsfall etc.

I alternativet där **rusning utan bromsning** tillåts, kan två fall särskiljas

- rusning vid kombinerad turbin
- okombinerad rusning.

Efter kontakter med leverantörer bedömdes att långvarig rusning över det dubbla synkronvarvtalet ej borde tillåtas, vilket i det studerade fallet innebär en begränsning till 150 rpm. Reservation görs dock beträffande eventuella skadliga vibrationer och att lagertemperaturen inte blir för hög.

Vid **rusning med okombinerad turbin** visade studien att vid det mest ogynnsamma fallet skulle det maximala varvtalet uppnås vid något under 5 m fallhöjd och avbördningen då vara ca 240 m³/s. Vid 7 m fallhöjd skulle varvtalet bli ca 190 rpm och flödet ca 290 m³/s. Löphjulsskovlar och ledskovlar förutsätts låsta. Bedömningen gjordes att även om önskat flöde skulle kunna uppnås i detta fall, vore det troligt att skadliga vibrationer skulle uppstå, som kunde skaka sönder lager, löphjulskammare, sugrör etc. En begränsning av varvtalet kan ske genom strypning av flödet med t ex sugrörslucka.

Vid **rusning med kombinerad turbin** bedömdes det teoretiskt möjligt att få ut 250 m³/s och upp till 7 m nettofallhöjd skulle varvtalet 150 rpm inte överskridas. För att fastställa det flöde (dvs hur stor ledskeneöppning som kan tillåtas), som kan släppas genom det studerade aggregatet utan allvarliga problem, bedöms ett anläggningsprov vara lämpligast. Det fortsatta arbetet för det studerade aggregatet inriktas på detta.

Vid kontakter med en turbintillverkare har framkommit att modellprov genomförts för några franska kraftverk under 60-talet avseende möjligheten att låta aggregat rusa en längre tid och vilka flöden som då kunde vara acceptabla. Några tester på anläggningar utfördes också. Slutsatsen av proven blev att kavitationsproblem och instabiliteter vid okombinerat aggregat är de begränsande faktorerna samt att det är fördelaktigt med stora löphjulsvinklar för att släppa igenom stora flöden. Vissa försök utfördes i kombination med en strypande sugrörslucka., vilka gav mycket goda resultat (tyst och jämn gång även vid rusning). Flöden upp till i närheten av maximala driftflöden provades på detta sätt.

Möjligheter att utnyttja turbinvattenvägarna i samband med höga flöden förefaller att finnas och kan vid stationer med gynnsamma förutsättningar ha ett värde, dels som en del i den framtida lösningen av hur dimensionerande flödet skall avbördas, dels ge en möjlighet att förbättra möjligheten att klara ett mycket högt flöde som inträffar innan en ombyggnad skett vid anläggningar, där avbördningskapaciteten skall ökas. Därtill kan metoden möjligen i vissa fall ge en reservmöjlighet om något ordinarie utskov inte fungerar. För att undvika igensättning av intag krävs sannolikt kontinuerliga insatser för att rensa dessa under den aktuella perioden.

Om det är nödvändigt för att undvika ett dammbrott med allvarliga konsekvenser, kan naturligtvis mycket stora skador på turbin och generator accepteras. En förutsättning för att kunna utnyttja denna möjlighet är naturligtvis att en fullständig genomgång och dokumentation över hur detta kan ske vid aktuellt kraftverk och att befogenhet finns för att snabbt ta beslut om åtgärd.

Analysen av avbördningsmöjligheter genom turbin har enligt uppdraget drivits som en enkel förstudie och rapporteras inte på annat sätt än vad som framgår ovan. Arbetet har genomförts av Vattenfall Vattenkraft i samarbete med Vattenfall Utveckling AB och Vattenfall Hydropower AB.

Det bör framhållas att medräknande av vattenföring genom turbinvattenvägarna i dimensioneringsarbetet innebär ett avsteg från Flödeskommitténs riktlinjer och därför särskilt bör godkännas av VASO dammkommitté.



Figur 6.10. Utskov med skador i berg vid sidorna efter provtappning.

7. UTREDNINGAR OM TILLSTÅNDSKONTROLL AV Fyllningsdammar

7.1. Allmänt

Vid anpassningen till Flödeskommitténs riktlinjer bedöms lösningen i vissa fall komma att innefatta dämpning genom temporär överdämning av vissa dammar. För att kunna utnyttja möjligheten till överdämning måste man förvissa sig om vad dammen rent tekniskt tål – dels mer teoretiskt med hänsyn till dammens uppbyggnad etc. dels utifrån det aktuella tillståndet dammen befinner sig i. Vidare är det angeläget att kunna bedöma dammens verkliga tvärsektion, speciellt nivåer för tät kärnan och ovanliggande filter liksom eventuella lågpunkter för dessa utmed dammen.

Tillståndskontroll är även viktigt framöver för att kunna upptäcka och vid behov åtgärda förändringar som kan påverka dammens funktion dels allmänt, dels speciellt vid överdämning. Dammar påverkas också av åldersförändringar, varför utveckling av metoder för tillståndskontroll, som tidigt kan upptäcka små förändringar, också är av intresse ur allmän dammsäkerhetssynpunkt. Kontrollen av dammar sker på olika sätt och med något olika syften under dammens livstid.

Under byggskedet sker **utförandekontroll** och i samband med första dämningen funktionskontroll som fortgår några år efter idrifttagningen.

Därefter övervakas dammar under driftskedet på olika sätt som ett led i dammsäkerhetsarbetet genom driftmässig tillsyn, inspektioner och besiktningar som sker med olika intervall. Om en skada upptäcks sker särskild undersökning av denna. Likaså kan en särskild undersökning behövas om man vill undersöka dammens förmåga att tåla någon ny belastning, exempelvis en överdämning. **Övervakningen** syftar till att i ett tidigt skede upptäcka en skada, så att reparation eller annan lämplig åtgärd kan vidtas vid rätt tidpunkt. I övervakningen ingår t ex att observera läckaget genom dammen samt att upptäcka insjunkningar eller onormala rörelser. Övervakningen kan med vissa metoder ske kontinuerligt såväl tidsmässigt, som längs hela dammen genom instrumentering av dammen för t ex läckagemätning, varvid läckvattnet insamlas till några mätpunkter. Med andra metoder sker övervakningen med vissa intervall tidsmässigt eller i vissa utvalda punkter längs dammen.

Om en skada upptäcks, sker normalt en särskild **undersökning** för att fastställa orsak, omfattning och lämpliga åtgärder, varvid såväl beprövade, traditionella som nyare undersökningsmetoder kan användas. Efter det att en skada åtgärdats kan en ny undersökning av det aktuella området göras för att kontrollera att avsett resultat uppnåtts.

Vissa metoder kan användas för såväl övervakning som undersökning. Vid val av metod är en viktig faktor om undersökningen kan ske kontinuerligt längs hela dammen, för ett större område av dammen, för ett plan genom dammen, längs en linje eller endast ger ett lokalt stickprov eller ett medelvärde för t ex en viss sektion av dammen. En annan faktor är vad metoden egentligen primärt undersöker och vilken koppling det har till dammens tillstånd. Ju mer indirekta faktorer som undersöks desto större risk kan föreligga att andra, för dammens tillstånd irrelevanta faktorer, påverkar resultatet och ger felaktiga indikationer eller diffusa och svårtolkade resultat. Likaså är det naturligtvis önskvärt att naturligt förekommande variationer i dammen, t ex beträffande packningsgrad eller vattenhalt kan

särskiljas från felaktigheter och förändringar i dammen. Vid reparationsarbete kan det därtill vara av intresse att kunna följa hur t ex injekteringsmedel sprids och effekten av reparationen på t ex läckaget. Av intresse är naturligtvis i vissa fall också hur lång tid det tar att få fram resultatet.

Av speciellt intresse är vissa metoder som ger möjlighet att efter en upptäckt skada jämföra en mätning över skadeområdet med en tidigare motsvarande mätning (fingeravtryck) och gärna med t ex datortomografi få en bild av förändringen. Viktigt i detta sammanhang är naturligtvis att mätningarna kan korrigeras för olika vattenstånd i dammen vid mät-tillfällena.

Kostnader och tidsåtgång är naturligtvis andra viktiga faktorer vid metodval och påverkas starkt av vilka åtgärder som behöver vidtas i dammen för att genomföra mätningen. Önskvärt är naturligtvis att inga eller endast obetydliga åtgärder behövs, t ex georadarmätning från dammens överyta eller att redan installerad utrustning kan utnyttjas, t ex vattenstånds-rör. Metoder som förutsätter åtgärder som provtagning genom borrhål eller installation av nya rör för mätningen innebär både i sig inte alltid önskvärda ingrepp i dammkroppen och ofta höga kostnader, vilket kan begränsa användningen till avgränsade områden, där skada indikerats på annat sätt.

Under senare år har kraftindustrin i samarbete med bl a Byggforskningsrådet och Kungl. Tekniska Högskolan genomfört ett antal projekt beträffande tillståndskontroll av fyllnings-dammar, bland vilka kan nämnas georadarmetoder för kontroll av tåtkärnans krönnivå och av tåtkärnan från såväl dammkrönet som mellan borrhål, vilket givit möjlighet till tomografisk analys av mätområdet. Vidare har automatiserat system för läckagemätning genom uppsamling av läckvatten vidareutvecklats och metod för läckagemätning med analys av temperaturvariationer i dammen utvecklats.

Inom ramen för föreliggande rapportserie med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer har en utredning och sammanställning gjorts av traditionella metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar och några utredningar beträffande nyare metoder.

Internationella erfarenheter och det faktum att anläggningarna blir allt äldre, har visat att det dessutom kan finnas behov av en mer djupgående utvärdering av anläggningarnas säkerhet. Vattenfall har påbörjat en sådan successiv säkerhetsgenomgång av sina viktigaste anläggningar. Utvärderingen omfattar t ex genomgång av projekteringsuppgifter och jämförelser med nuvarande riktlinjer för byggande och driftsäkerhet, men också värdering av uppgifter från tillståndskontroll. De genomförda utredningarna beträffande tillståndskontroll kan vara av värde även i detta sammanhang.

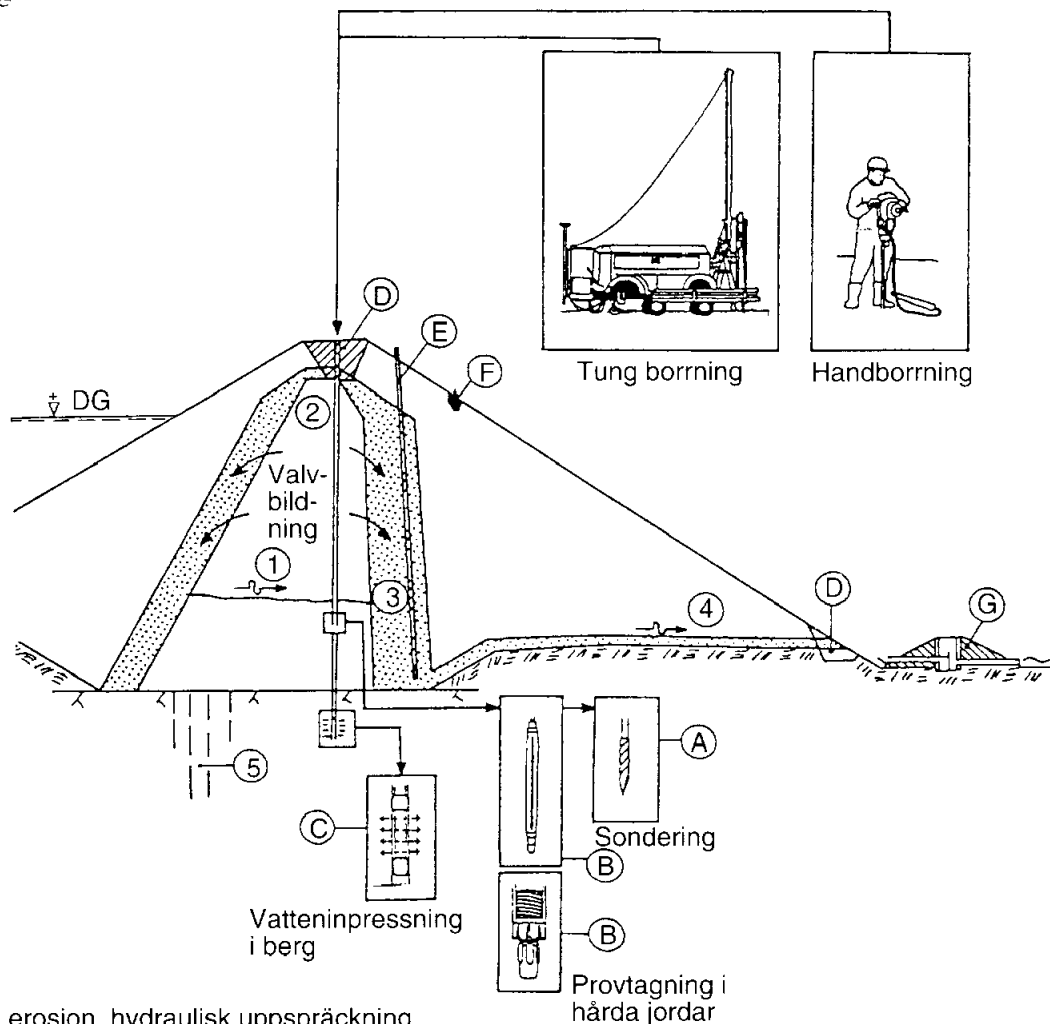
Utredningarna presenteras nedan:

7.2. Beprövade metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar

Syftet med denna studie är att beskriva beprövade metoder för undersökning och övervakning av fyllningsdammar. Utredningen redovisas i rapport 20, "Beprövade metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar":

Dammägarna har etablerat rutiner för övervakning av dammanläggningar. Den planmässiga kontrollen omfattar tillsyn, inspektioner och besiktningar.

Instrumentering i form av läckagemätning, deformationsmätning av överytan och porttrycksmätningar är, där så är praktiskt möjligt installera, att betrakta som "bas-instrumentering" för alla fyllningsdammar av betydelse. Minskningen av personal vid dammanläggningarna, i kombination med snabb teknisk utveckling av signalöverföring och dataövervakning, har lett till att automatisering av damminstrumenteringen blivit allt mer aktuell.



Figur 7.1. Exempel på skador och metoder för övervakning och undersökning.

Vid val av undersökningsmetod för att detektera och kartlägga omfattningen av ett område i dammens tätjärna som misstänks vara skadat av inre erosion behövs kännedom dels om normala variationer i parametrarna som skall undersökas, dels undersökningsmetodens noggrannhet.

I rapporten beskrivs de vanligaste geotekniska metoderna (se fig. 7.1); provgropsgrävning, sondering och borrhning. Bland sonderingsmetoderna beskrivs viktsondering, spetskraftsondering och hejarsondering. Vidare nämns några möjligheter till fältförsök som kan genomföras i borrhål och exempel på laboratorieundersökningar som kan göras på upptagna jordprover. Även metodernas noggrannhet belyses.

Fältundersökningar som behövs för att bedöma överdämningsförmågan kan omfatta provgropsgrävning i dammkrönet för att bestämma nivåer för olika material och deras genomsläpplighet samt erosionskänslighet. Vidare behövs kännedom om kornfördelningen hos nedströms stödfyllning och lägen för tänkbara utströmningspunkter för bedömning av stabilitet och erosionskänslighet.

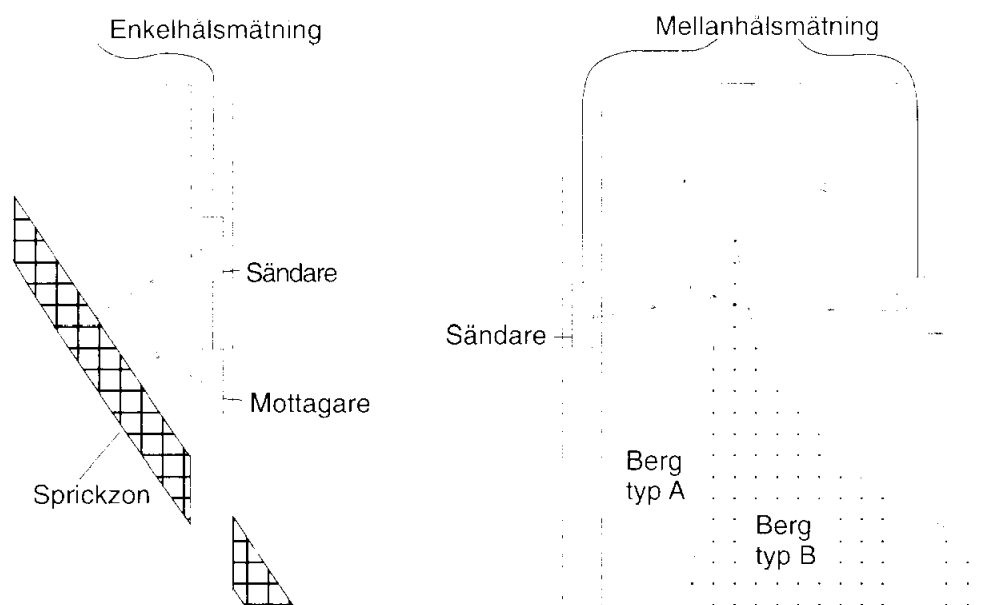
7.3. Nyare metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar

I denna studie har olika metoder inventerats i syfte att finna "nya" mätmetoder som kan vara lämpliga för olika mätningar i fyllningsdammar idag eller i framtiden. Utredningen redovisas i rapport 21, "Nyare metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar":

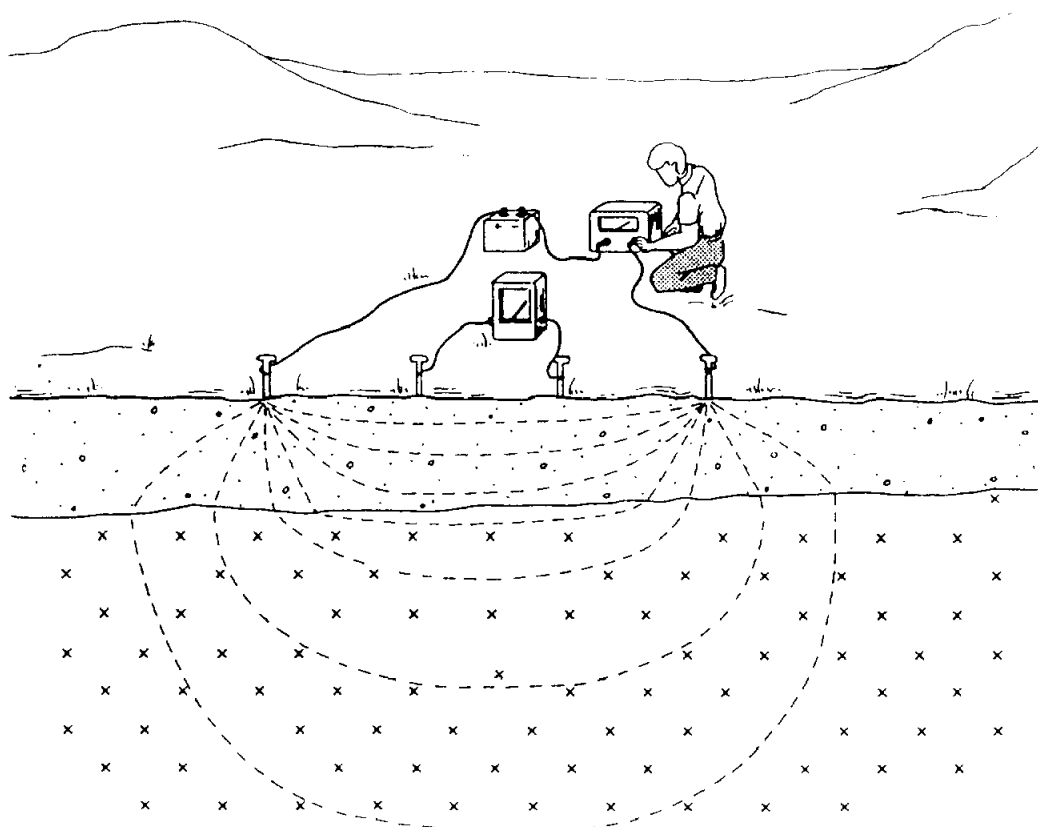
För både övervakning och undersökning av dammar finns idag nya metoder som är eller kan bli bra komplement till befintliga metoder. De nya metoderna kan dock ej ersätta de hittills använda metoderna. Den erfarenhet som erhållits med gamla metoder är värdefull, varför pågående mätningar ej bör avslutas.



Figur 7.2. Georadarmätning med fem antenner för lokalisering av tätjärnans krön.



Figur 7.3. Enkelhåls- samt mellanhålsmätning med borrhålsradar, efter Andersson et al (1992).



Figur 7.4. Princip för elektrisk resistivitetsmätning (modifierad från Robinson och Coruh, 1988).

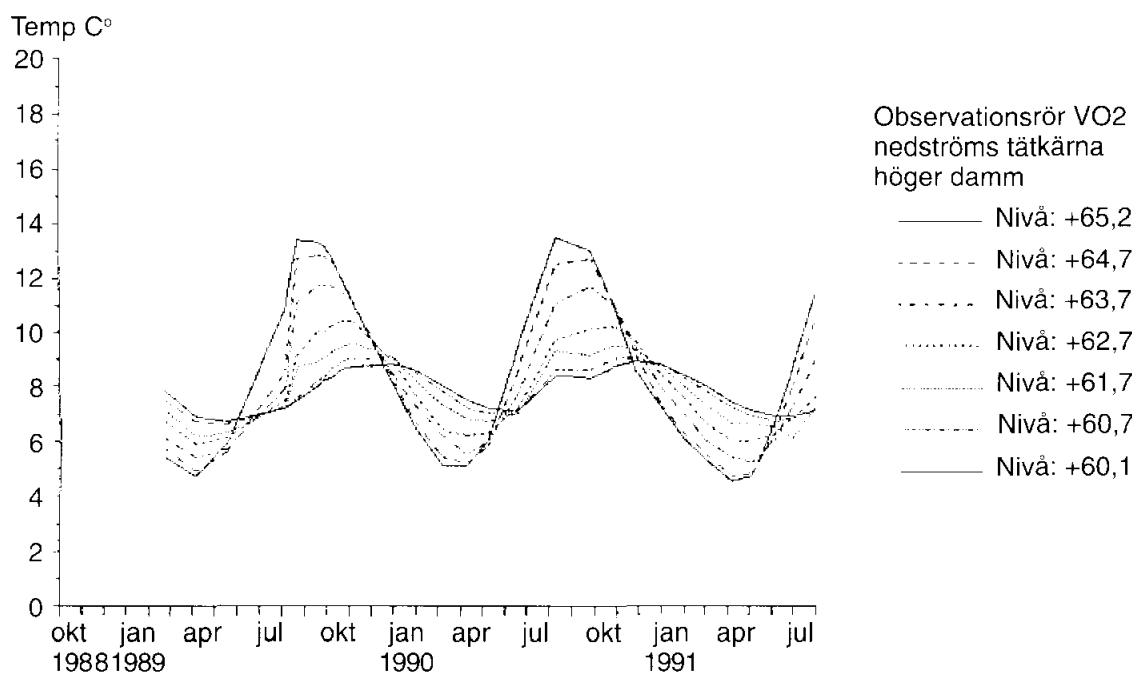
Metoderna har utvärderats utgående från en modell som baserats på de skadetyper som kan uppkomma i dammar. Av denna framgår att hur inre erosion utvecklas är av avgörande betydelse för flertalet skadetyper uppkomst och omfattning. Genom översiktliga studier av hur inre erosion kan utvecklas har visats att strömningsrelaterade mätparametrar ger större mätbara förändringar än materialrelaterade mätparametrar. Metoder som mäter flödesberoende parametrar bör därför eftersträvas. Meto-

dernas användningsområde bestäms också av deras noggrannhet och upplösning. En utvärderingsmodell har därför framtagits där dessa faktorer beaktats. Metoderna har indelats i icke förstörande metoder, borrhålsmetoder och övriga metoder.

För övervakning bedöms självpotentialmätningar (SP), resistivitmätningar (se fig. 7.4) och temperaturmätningar (se fig. 7.5) vara lämpligast för komplettering av befintliga metoder, vanligen flödesmätningar. De två förstnämnda metoderna kan utföras från dammkrönet och kan därmed täcka in hela dammens längd. På sikt bedöms att flödesmätningar kan kompletteras med turbiditetsmätningar (grumlighetsmätningar) samt hydrokemisk analys av läckagevattnet. Alla de här beskrivna metoderna kan installeras permanent i en damm och anslutas till en mät dator, där lagring och bearbetning av insamlade data kan ske.

För undersökning av en damms överdämningsförmåga ger befintliga metoder i allmänhet tillräcklig information. Om man önskar att bestämma tät kärnans nivå kontinuerligt längs dammen kan dock georadar användas (se fig. 7.2).

Vid incidentundersökningar kan först erfordras att förändringen lokaliseras. För detta ändamål bedöms självpotentialmätningar (SP) vara den lämpligaste metoden eftersom den kan utföras snabbt. Metoden har dock bara använts en gång i Sverige. Lämpliga metoder är även resistivitmätning och georadar eftersom dessa enkelt kan utföras utmed dammen utan några störande ingrepp. Då en förändring lokaliserats kan metoder med högre upplösning väljas för att undersöka dess omfattning och ge underlag för bedömning av dess betydelse. Bland dessa metoder kan nämnas borrhålsradar (se fig. 7.3) och Sonic Cross-hole. I många fall kan också temperaturmätningar ge viss information. Traditionellt används borrhning och/eller sondering för detta ändamål och förmodligen kommer borrhning inte att kunna ersättas med "nya" metoder. Borrhningarnas informationsgrad kan dock ökas genom installation av



Figur 7.5. Temperaturvariationer i ett vattenståndsrör på bestämda nivåer.

mätrör som kan användas för andra mätningar. Om så är möjligt bör plaströr väljas eftersom dessa erfordras vid mätningar med borrhålsradar.

Utredningen sammanfattar och jämför nyare metoders lämplighet för olika syften i dagsläget och för de typer av skador, som kan uppdkomma i fyllningsdammar, och kommenterar även metodernas utvecklingspotential.

I anslutning till ovanstående har pilotprojekt genomförts för några olika metoder, nämligen ett, som syftar till att bestämma varifrån läckvatten kommer genom isotopanalys av vattnet och två projekt som syftar till att genom elektriska metoder upptäcka avvikelser i vatten genomströmningen i dammar.

7.4. Isotopanalys av läckvatten från dammar

Projektet syftar till att testa en metod för att avgöra om det vatten som återfinns nedströms en damm är läckvatten från magasinet eller lokal tillrinning från dammens nedströmssida. Utredningen redovisas i rapport 22, "Isotopanalys av läckvatten från dammar":

Studien syftar till att testa en metod, som bygger på analyser av den stabila isotopen syre-18 (^{18}O), för att avgöra om det vatten som återfinns nedströms en damm är läckvatten från magasinet eller lokal tillrinning från dammens nedströmssida. Halten av den stabila isotopen analyserades därvid i prov tagna samtidigt i magasinet, grundvatten och eventuellt läckvatten. Vattennivån i magasinet, läckvattenhydrografen och nederbörden analyserades dessutom för att se hur dessa faktorer samvarierar. Metoden tillämpades på Grundsödammen i Ljusnan och Flåsjödammen i Ljungan.

Det visade sig att vattnet nedströms Flåsjödammen troligen kommer från magasinet, medan det vatten som misstänktes vara läckage från Grundsödammen troligen är lokal tillrinning nedströms dammen.

En bedömning av metodens möjligheter är dock att resultaten från pilotförsöken inte var helt entydiga och att visst stöd från andra metoder måste användas för att verifiera tolkningen. Vidare måste isotopanalysen utföras i laboratorium, vilket utesluter metoden i de fall där en automatisk övervakning önskas.

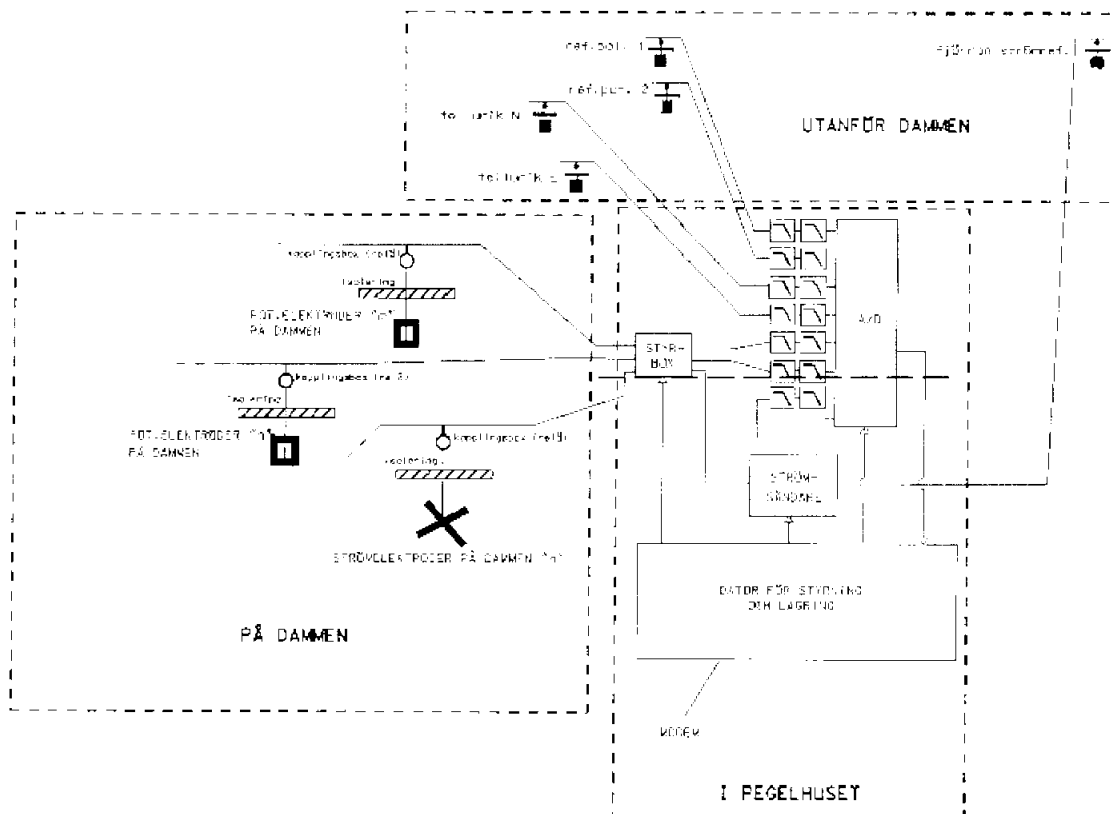
7.5. Övervakning av tät kärnans funktion genom mätning av självpotential och resistivitet

Projektet redovisas i rapport 23, "Övervakning av tät kärnans funktion genom mätning av självpotential och resistivitet":

Möjligheterna att tidigt detektera inre erosion genom mätningar med elektriska metoder på dammkroppen bedöms vara av stort intresse, vilket motiverar utveckling av adekvat mät- och analysteknik. Det aktuella projektet har haft som målsättning att:

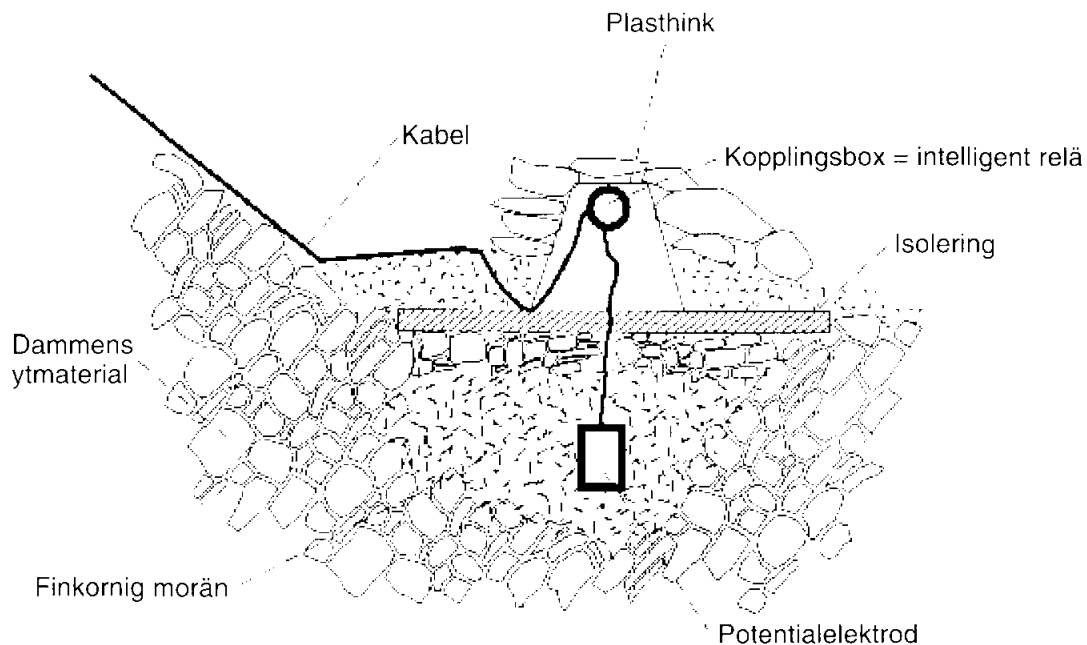
- Utveckla en prototyp för kontinuerlig självpotential- och resistivitmätning på en stor damm.

- Under år 1993 utvecklades mätsystemet varefter det installerades på en av dammarna i Suorva, där självpotential- och resistivitetsmätningar pågått sedan augusti detta år. Mätsystemet är fullständigt automatiserat vad beträffar mätning. Mätparametrar kan varieras per modem. Datakvalitet kan kontrolleras och viss feldiagnostik ställas utan fysisk närvaro på dammen. Endast reparationer av fysiska skador på instrumenteringen kräver besök på plats.



Fördelar med systemet är att mätningar kan utföras med upplösning. Systemdesign och komponentval ger vidare stor flexibilitet vad gäller anpassning till de lokala förutsättningarna på olika dammar.

Mätserien visar att dammen reagerar som väntat på variationer i magasinshöjd, dvs en mätbar strömningspotential uppkommer i dammkroppen till följd av vattenströmning genom densamma. Förutsättningen för identifikation av strömningsvariationer genom dammkroppen finns därför. Ett tänkbart sätt att undersöka om anomala zoner kan vara utsatta för inre erosion är att kontrollera om zetapotentialen i dessa förändras med tiden.



Figur 7.7. Principskiss för elektrodinstallation.

En studie av SP-anomaliers koppling till metallskrot visar att skrot generellt endast framkallar relativt små anomalier. En kraftig negativ SP-anomali i den centrala delen av dammen har dock sin övre källa på ringa djup under dammytan, varför det inte kan uteslutas att den är orsakad av metallskrot.

Resistivitetsdata på den studerade dammen påverkas av för många variabler för att inverkan av någon enskild skall kunna identifieras entydigt. Inget av de områden med inhomogen strömning som indikerats av SP-mätningarna, har hittills kunnat spåras entydigt i resistivitetsdata.

I den ursprungliga projektformuleringen var avsikten att basera analysen av data på statistisk analys, med grund i dammens respons för vattenståndscyklar. Sommaren år 1993 var emellertid extremt regnrik och sommaren år 1994 extremt regnfattig, vilket fick till följd att en full vattenståndscykel ej erhålls, vilket har försvårat analysen av resistivitetsdata.

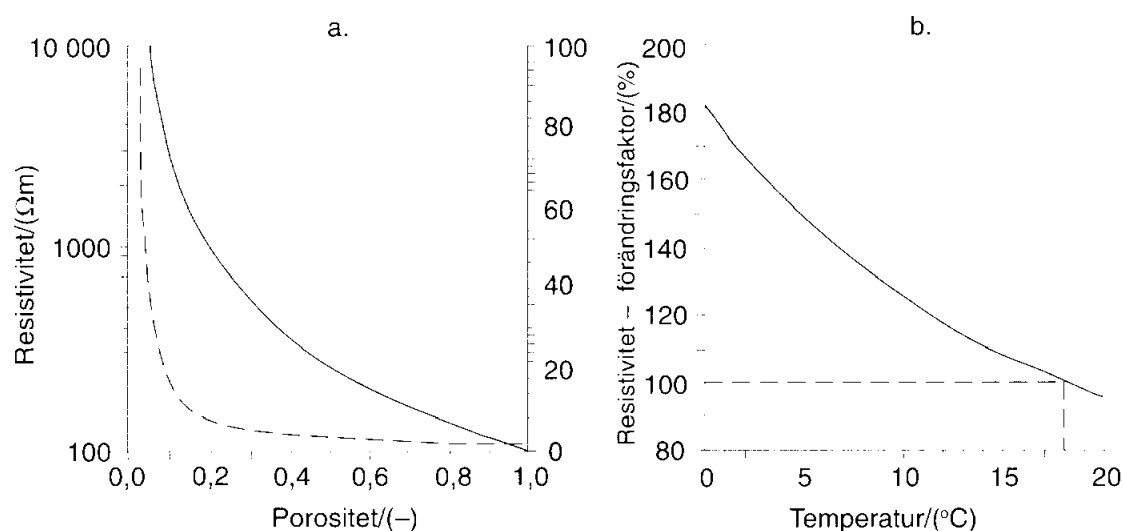
Bra modelleringsverktyg både för SP- och resistivitetsdata krävs. Vidare krävs bättre kunskap om de fysikaliska egenskaperna hos dammar, dvs indata till modellerna. Detta möjliggör analyser av kvantitativ karaktär i större grad än vad som utförts i detta projekt. På Högskolan i Luleå pågår kvantifiering av parametrar relaterade till strömningspotential i bl a moräner. Även studier av tätkärnans resistivitetsreaktion på förändringar i vattentemperatur och vattnets joninnehåll bör utföras.

Speciellt resultaten av självpotentialmätningarna förefaller lovande. I nedanstående närliggande projekt har en studie gjorts som bl a inkluderar inverkan av temperatur på resistivitetsreaktionen.

7.6. Övervakning av tätkärnans funktion genom analys av resistivitetsvariationer

Projektet redovisas i rapport 24, "Övervakning av tätkärnans funktion genom analys av resistivitetsvariationer":

Internationella erfarenheter visar att det finns ett behov av att utveckla metoder och mätmetodik för att få en förbättrad övervakning av fyllningsdammar. Av speciellt intresse är dels metoder som tidigt kan registrera begynnande förändringar i dammen, dels metoder som möjliggör övervakning av hela dammen. Vattenströmningen genom en damm ger bland annat upphov till säsongsmässiga temperaturvariationer, vilket i sin tur påverkar resistiviteten i dammen. Den grundläggande hypotesen i detta projekt är därför att även den säsongsmässiga resistivitetsvariationen kan användas för att detektera förhöjt läckage. Genom att studera resistivitetsvariationen och vidareutveckla den tolkningsmetodik som utvecklats för temperaturmätningar kan vattenströmningen kvantifieras. Syftet med detta pilotprojekt är att registrera lokala strömningsförändringar genom mätning av resistiviteten.



Figur 7.8. a. Resistivitetens beroende av porositeten i lerfritt material enligt Archies lag ($\rho_v = 100 \Omega m$, $a = 1,0$, $m = 1,4$).
b. Resistivitetens beroende av temperaturen (temperaturkoefficienten $a = 0,025$).

Resistiviteten mäts via elektroder som grävs ned i dammens krön eller på dess nedströmssida. Det använda mätsystemet är datorstyrt och består bland annat av mätinstrument, kopplingsenhet och flerledarkablar. Mätningar med ca två månaders mellanrum har utförts vid Lövöns och Moforsens kraftverk. Sammanlagt har åtta mätningar gjorts vid Lövön och sex vid Moforsen. Vid Lövön har mätningar enbart utförts från dammkrönet medan det vid Moforsen har utförts mätningar från dammkrönet samt från de två terrasserna nedströms, det vill säga längs tre mätlinjer.

En första tolkning av resistivitetsdata har utförts med syfte att upptäcka felaktiga mätresultat etc. Därefter har resultatet använts som indata för en kvantitativ tolkning av resistiviteten i dammen. De utvärderade resistiviteter i dammen visar en säsongsvariation på samma sätt som temperaturmätningar. Resultatet kan utvärderas

genom att studera såväl pulsens fasförskjutning som dess amplituddämpning. Oberoende utvärdering kan därför göras med dessa båda utvärderingsmetoder vilket möjliggör viss kontroll av resultatet.

Den utvärderade vattenströmningen har jämförts med den som erhållits baserat på analys av temperaturmätningar, vilka inom mätområdet utförs i ett mätrör i Lövön och tre i Moforsen. Båda mätmetoderna visar flöden av ca 0,5–1 ml/s/m². Några känslighetsanalyser av de olika utvärderingsstegen har ej utförts för resistivitetsmätningarna, varför resultatens precision ej kan bedömas. Dessutom kan både mät- och utvärderingstekniken vidareutvecklas.

Genom tolkning av uppmätta resistivitetsdata kan skillnader i vattenströmning lokaliseras och till viss del även kvantifieras. Med nuvarande teknik är metoden mest tillämplig för vanliga svenska dammar, dvs med en höjd lägre än ca 30 m och ca 500–1 000 m längd. Vid korta och höga dammar (exempelvis kortare än 200 m och högre än 50 m) blir både mätningarna och tolkningen mer komplicerad. Om man önskar använda metoden även för sådana dammar erfordras ytterligare utveckling och anpassning av metoden.

Resultatet från detta pilotprojekt synes vara lovande och metodens låga detektionsgräns innebär att eventuell inre erosion bör kunna upptäckas i ett tidigt skede. Genom att metoden är icke förstörande kan även förloppets utveckling i tiden följas.

Metoden förefaller lovande för övervakning av dammar, speciellt i kombination med temperaturmätningar

8. UTREDNINGAR OM TILLSTÅNDSKONTROLL AV BETONGDAMMAR

8. 1. Allmänt

Vid anpassningen till Flödeskommitténs riktlinjer bedöms lösningen i vissa fall komma att innefatta dämpning genom temporär överdämning av vissa dammar. För att kunna utnyttja möjligheten till överdämning måste förvissa sig om vad dammen rent tekniskt tål – dels mer teoretiskt med hänsyn till dammens uppbyggnad etc, dels utifrån det aktuella tillståndet dammen befinner sig i. Detta gäller naturligtvis inte bara jorrdammar utan i lika hög grad även betongdammar och därför har en utredning kring dessa frågor gjorts med en sammanställning och utvärdering av metoder för tillståndskontroll vad gäller betongdammar. Traditionella metoder och möjliga oförstörande provningsmetoder beskrivs. Tonvikten har därvid lagts på nyare metoder.

Internationella erfarenheter och det faktum att anläggningarna blir allt äldre, har visat att det dessutom kan finnas behov av en mer djupgående utvärdering av anläggningarnas säkerhet. Vattenfall har påbörjat en sådan successiv säkerhetsgenomgång av sina viktigaste anläggningar, såväl vad gäller fyllningsdammar som betongdammar. Utvärderingen omfattar t ex genomgång av projekteringsuppgifter och jämförelser med nuvarande riktlinjer för bygande och driftsäkerhet, men också värdering av uppgifter från tillståndskontroll. De genomförda studierna beträffande tillståndskontroll kan vara av värde även i detta sammanhang.

8. 2. Tillståndskontroll av betong i vattenkraftanläggningar

Utredningen redovisas i rapport 25, "Tillståndskontroll av betong i vattenkraftanläggningar":

I utredningen ges även en beskrivning ges av olika former av och tecken på åldringsprocesser hos betongkonstruktioner. Därvid redovisas såväl de yttre tecken på skada som kan iakttas på konstruktionens yta som de faktiska skador som förekommer i ytan eller i konstruktionens inre. Förekomsten av skador i betongkonstruktioner inom vattenkraften beskrivs och det kan konstateras att allt ifrån materialnedbrytning till stora defekter förekommer. Skadorna förekommer dessutom i konstruktionsdelar av varierande storlek och form. I många fall är dock skadorna inte av betydelse för bärrigheten utan påverkar främst beständigheten.

Aktuella procedurer för övervakning av konstruktionsdelar i betong beskrivs i rapporten. En genomgång av de traditionella metoderna och tillvägagångssätten vid betongkontroll visar att goda kunskaper om materialets nedbrytningsgrad kan erhållas med förstörande metoder. En god bild av konstruktionens fysiska tillstånd kan fås med traditionella kontrollmetoder. Ett kompletteringsbehov beträffande tillståndskontrollmetoder har dock identifierats för relativa kvalitets- och nedbrytningsbedömningar inom en konstruktion samt vid detektering av inre skador. Möjligheterna att täcka detta kontrollbehov med oförstörande metoder bedöms intressant att utreda.



Fig 8.1. Kalkavlagringar på vägg.



Fig 8.2. Porös betong i ytan på en kanalvägg vid en spricka.

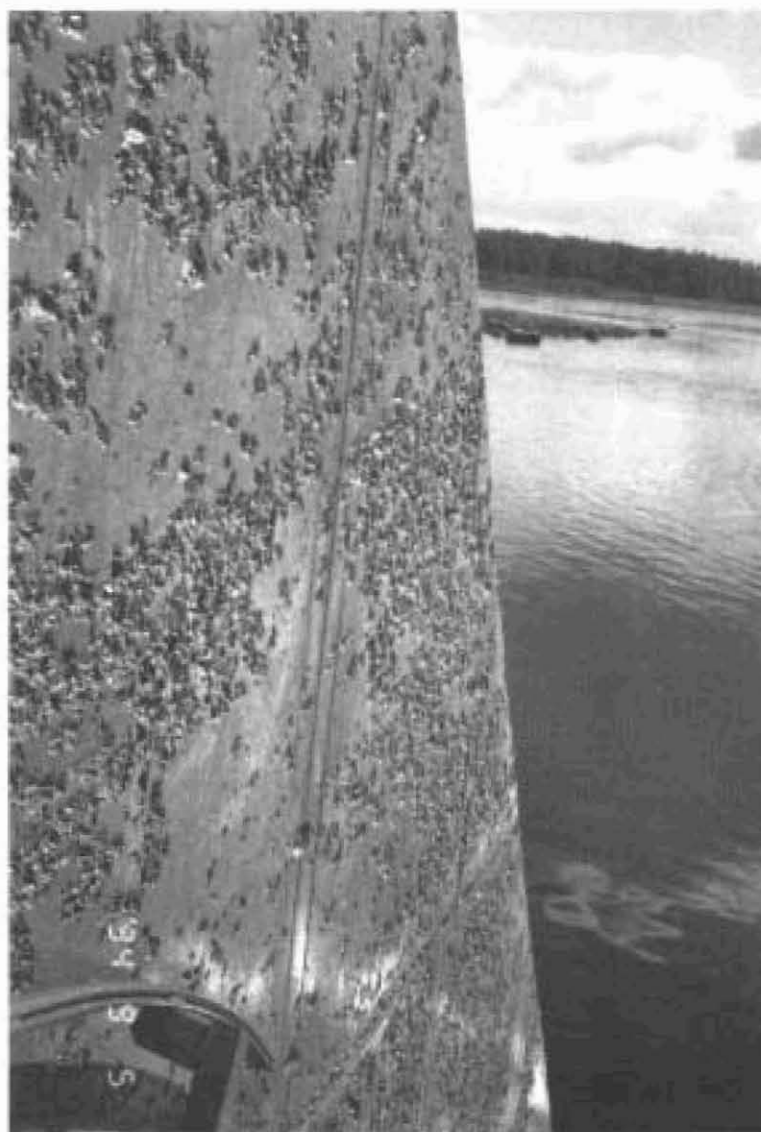


Fig 8.3. Avflagnig av material i ytan på en utskovspelare.

I undersökningen ges en översikt över de metoder för oförstörande tillståndskontroll som kan ha en tillämpning vid betongprovning. Utvecklingsläget för oförstörande tekniker baserade på i första hand stötvågsutbredning, elektromagnetisk vågutbredning och dynamisk respons redovisas. Dessutom redogörs för tekniker baserade på strålningsmätning, termografering och elektrokemisk mätning. Beskrivning innehåller information om metoden, mättekniken och utvärderingsmetodiken och redovisningen omfattar så långt möjligt den senaste utvecklingen respektive det arbete som pågår i Sverige. I redovisningen värderas vidare teknikernas potential för kontroll av betongkonstruktioner och de flesta av angreppssätten bedöms ha en god potential. Vissa av metoderna som ultraljudsmetoder och strålningsmetoder bedöms i första hand vara användbara vid måttligt stora konstruktioner och bör kunna användas för att karaktärisera materialnedbrytning. Vid stora och grova konstruktioner kan med fördel metoder med elektromagnetiska vågor och lågfrekventa stötvågor användas för att detektera större defekter.

78



Fig 8.5. Utskovspelare med försvunna stenar.



Fig 8.6. Skada på betong i utskov.

Det framgår att endast ett begränsat antal metoder finns omedelbart tillgängliga för betongkontroll och inte ens dessa har ännu fått sin kapacitet testad fullt ut vid skadedetektering i konstruktioner. Många tänkbara och intressanta möjligheter till fortsatt utveckling och utprovning finns.

Rapporten beskriver såväl traditionella metoder som möjliga oförstörande provningsmetoder för kontroll av betong. Utveckling av nya metoder pågår inom såväl kraftindustrin som inom andra områden, t ex beträffande tillståndskontroll av broar. Med tilltagande ålder hos anläggningarna ökar betydelsen av effektiva metoder för övervakning och tillståndskontroll, varför detta utvecklingsarbete är angeläget.

9. UTREDNINGAR OM RISKANALYS MM

9.1. Allmänt

Flödeskommitténs uppgift var att lämna förslag till dimensionerande flöden och anpassningsprocessen till dessa flöden pågår. Den hydrologiska säkerheten kan därmed anses bli tillfredställande. Dammsäkerheten totalt beror dock även på ett flertal andra faktorer och det är naturligtvis angeläget att även beträffande dessa ha en väl avpassad säkerhetsnivå och i de fall där ombyggnad i något avseende skall ske är det kanske lämpligt att se över helheten så att inte några år senare ytterligare någon ändring måste göras, som av såväl praktiska som ekonomiska skäl borde samordnats med den förra.

Ett steg på vägen är att genomföra program för systematiska dammsäkerhetsutvärderingar av befintliga dammar.

För att behandla risker på ett systematiskt sätt används ofta riskanalyser t ex inom flyg- och kärnkraftindustrin. Ett dylikt angreppssätt är naturligtvis även lämpligt att använda som hjälpmedel för dammsäkerhetsarbetet och några studier har genomförts.

Vattenfall genomförde år 1990 en riskstudie beträffande avbördningssystemet i Stadsforsen [8], som pekade på möjliga risker vid ett samtidigt automatiskt öppnande av samtliga luckor i närmast ovanliggande kraftstation och även belyste betydelsen av redundans för avbördningssystemets kraftförsörjning vid underhållsarbeten på likströmssystemet och av att funktionskontroll av KAS-systemet innefattar hela funktionskedjan.

Som en del av projektet om luckors funktionssäkerhet genomfördes en felträdsanalys och driftsäkerhetsbedömning beträffande utskovsluckor av Sydkraft Konsult AB, vilken kortfattat finns beskriven i rapport 7, "Utskovsluckors funktionssäkerhet":

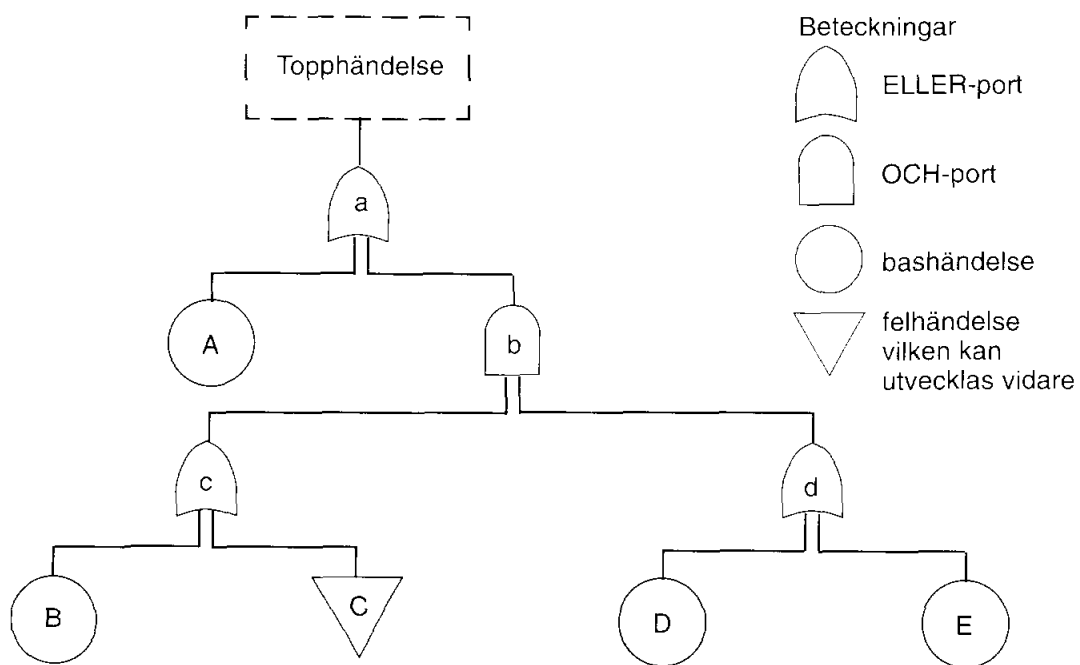
Vid institutionen för vattenbyggnad vid Kungl. Tekniska Högskolan, KTH har två licenciatavhandlingar genomförts med stöd från kraftindustrin, vilka publicerats under hösten 1995. I dessa beskrivs systematiken och man drar vissa slutsatser, bl a framhålls betydelsen av filterfunktionen och risken för igensättning av utskov med drivgods.

Inom ramen för föreliggande rapportserie har en studie gjorts beträffande riskanalysfrågor inom dammsäkerhetsområdet, vilken till stor del bygger på de nämnda avhandlingarna vid KTH.

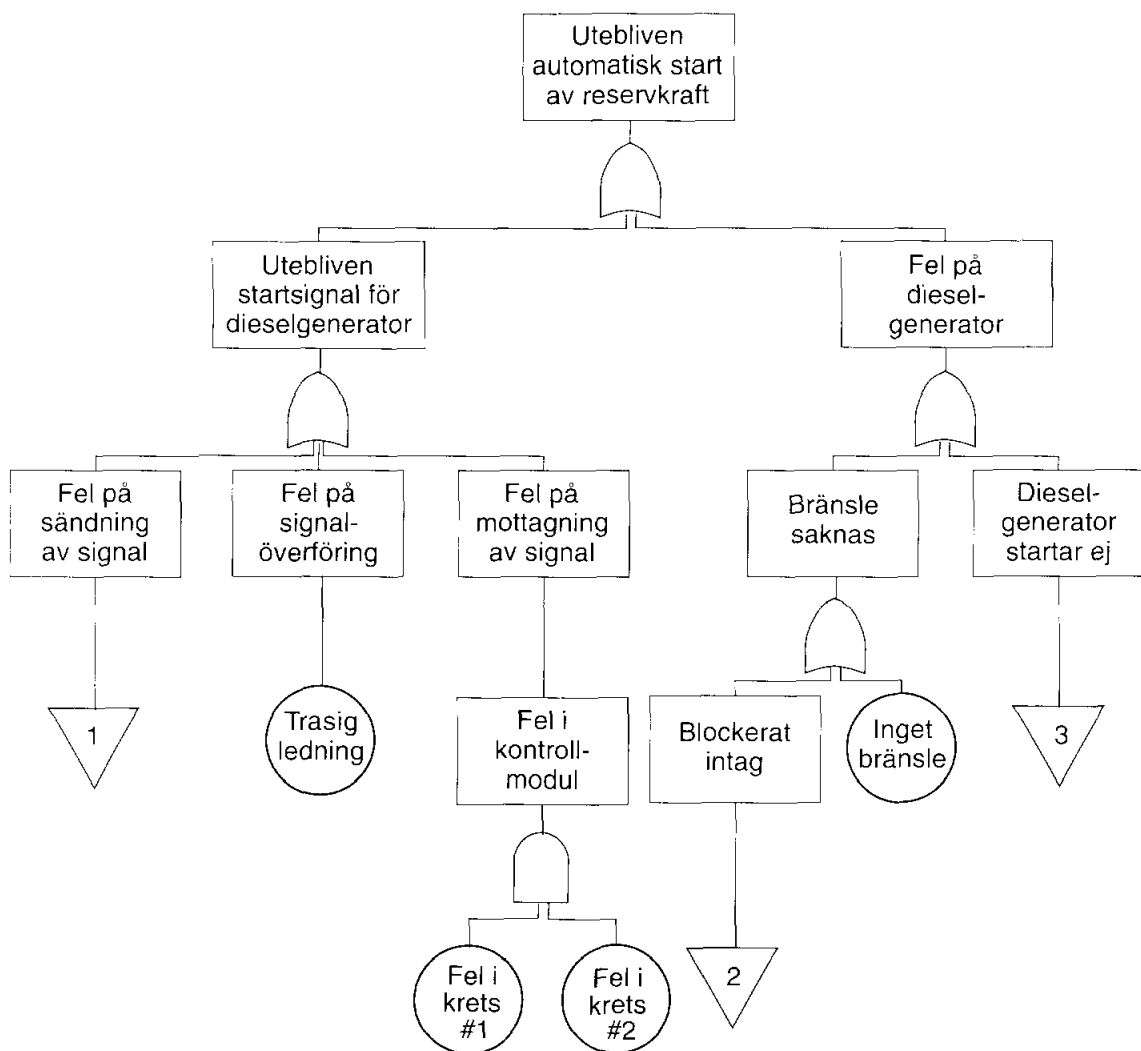
9.2. Riskanalys i dammsäkerhetsarbetet

Utredningen beträffande riskanalys redovisas i rapport 26, "Riskanalys i dammsäkerhetsarbetet":

Avsikten med studien är att sprida kunskap om hur riskanalys skulle kunna användas i det svenska dammsäkerhetsarbetet. Utgående från internationella erfarenheter av riskanalys för dammanläggningar beskrivs analysmetodikens syfte, möjligheter och principiella tillvägagångssätt.



Figur 9.1. Principexempel på felträd.



Figur 9.2. Principexempel på felträd för felfunktion i reservkraft.

I Sverige finns omkring 900 kraftverksdammar. 143 av dessa klassificeras som höga dammar (dvs de är minst 15 m höga). Dammbeståndet blir allt äldre, vilket ökar behovet av att säkerställa att tillfredställande säkerhet upprätthålls vid anläggningarna. Dammhaverier är sällsynta, men konsekvenserna av ett enskilt haveri kan vara katastrofala, och skall undvikas med alla tillgängliga medel. Det är nödvändigt att systematiskt arbeta mot att förbättra totalsäkerheten och minimera inverkan från eventuella haverier. Här kan riskanalys vara ett ändamålsenligt analysverktyg.

Riskanalys är väletablerat för utvärdering av säkerheten för många olika tekniska system, men har bara använts i begränsad omfattning för dammsäkerhetsutvärdering i Sverige. Sedan 1970-talet har man i flera länder arbetat mot att göra riskanalys till ett effektivt hjälpmedel i dammsäkerhetsarbetet. Arbetet har intensifierats under senare år, och idag används riskanalys aktivt för identifiering och utvärdering av risker vid dammanläggningar.

Riskanalys är ett samlingsnamn för olika metoder att systematiskt identifiera och värdera risker förbundna med ett system. Förenklat innebär riskanalys av dammanläggningar att alla händelser och orsakssamband som kan leda till dammbrott identifieras, att sannolikheten för dessa händelser och konsekvenskedjor orsakade av dem skattas, och att effekten av alternativa åtgärder för riskminskning utvärderas. Syftet med att utföra en riskanalys för en dammanläggning är vanligen att fastställa vilka de största bidragande riskfaktorerna i systemet är, och hur de kan minimeras på ett effektivt sätt. Att reducera risken till en acceptabel nivå är det yttersta målet.

Analysens syfte är inte att uppnå ett absolut värde på anläggningens säkerhet. Den verkliga nyttan ligger i att utvärdera dammsäkerheten på relativ basis. Dvs efter att ha fastställt ett mått på säkerheten vid en viss damm, kan man undersöka effekter av alternativa åtgärder för att förbättra säkerheten.

Riskanalys påbörjas lämpligen i seminarieform där en projektgrupp, bestående av experter på alla relevanta områden, identifierar händelsekedjor som kan ge allvarliga konsekvenser och skattar sannolikheter för ingående felhändelser. Riskanalysen bör innefatta både händelseträdsanalys och felträdsanalys. Händelseträd är lämpliga för övergripande analys av hela brottssekvenser, medan felträd är mer lämpade för analys av delsystem.

Användande av expertbedömningar för skattning av sannolikheter är idag nödvändigt på grund av att dokumentationen över dammsystemet och drifterfarenheter ofta är bristfällig. Kvaliteten på tillgängligt underlag är av yttersta betydelse i riskanalyser. Använt underlag, gjorda antaganden och resonemang skall dokumenteras noggrant. Detta möjliggör uppdatering av analysen om ytterligare underlag blir tillgängligt, eller om analysens detaljeringsnivå skall höjas. Framtida riskanalyser skulle främjas mycket av tillgång till en databas över inträffade incidenter och drifterfarenheter.

Riskanalys bedöms vara ett värdefullt verktyg i dammsäkerhetsarbetet, främst för att ge insikt om var de svagaste länkarna döljer sig och hur resurser för dammsäkerhetsförbättring bäst kan fördelas. Metodiken, som hittills endast i begränsad omfattning prövats i vårt land, är på stark frammarsch och förväntas framöver användas alltmer. Detta är ett av de områden kraftindustrin prioriterar för fortsatta utvecklingsinsatser. Inom branschen pågår arbete

med att införa ett gemensamt system för incidentrapportering, vilket bedöms ge förbättrat underlag för framtida riskanalyser.

9.3. Incidentrapportering

Erfarenhetsåterföring från inträffade händelser och incidenter är ett mycket värdefull metod för att öka säkerheten. Inom kraftindustrin låg under utbyggnadsskedet tonvikten på erfarenhetsåterföring inom konstruktions- och byggområdet och hur systematisk den då varit varierar mellan företag och säkert också med tiden.

Under driftskedet har också erfarenhetsåterföring skett, vilket kan illustreras av flera av rapporterna i serien, men den har inte heller under driftskedet varit systematisk, vilket innebär att åtskilligt säkert saknas.

Andra områden har sedan länge haft effektiva system för incidentrapportering, speciellt kärnkraft- och flygindustrin och erfarenheterna därifrån är mycket goda.

Som ett led i arbetet med att förbättra säkerheten bör därför ett system för incidentrapportering införas inom dammsäkerhetsområdet och för att få det så effektivt som möjligt bör det vara gemensamt inom vattenkraftindustrin. Naturligtvis är det också viktigt att systemet utnyttjas för att dra slutsatser och att sprida dessa. I rapport 7 om "Utskovsluckors funktionssäkerhet" föreslogs också att systemet för incidentrapportering bör förbättras genom att rutiner för delgivning inom kraftindustrin upprättas, vilket kan leda till förbättrade konstruktioner och säkerhetsrutiner. Internationellt erfarenhetsutbyte inom dammsäkerhetsområdet är också av stort värde i detta sammanhang – en jämförelse kan göras med samarbetet inom kärnkraftområdet mellan olika ägare beträffande registrering och bearbetning av komponentfel.

Arbete pågår för närvarande inom RIDAS-projektet med att ta fram ett gemensamt incidentrapporteringssystem för vattenkraftområdet. Under våren 1997 inleddes test av ett förslag till rapporteringssystem vid några anläggningar och avsikten är att sedan ev justeringar inarbetats tillämpa systemet inom hela vattenkraftområdet.

10. FORSKNING OCH UTVECKLING INOM DAMMSÄKERHETSOMRÅDET

Kraftindustrin har under senare år bedrivit ett mycket aktivt forsknings- och utvecklingsarbete inom dammsäkerhetsområdet genom Vattenregleringsföretagens Samarbetsorgan VASO och ELFORSK. Föreliggande rapportserie är ett exempel på detta. Forskningen inom området har också stötts genom såväl projektuppdrag som mer generellt stöd till framför allt avdelningen för Vattenbyggnad vid Kungl. Tekniska Högskolan men även Tekniska Högskolorna i Luleå (numera Luleå Universitet) och Lund.

Detta har lett till att det vid högskolorna under senare år bedrivits doktors- och licentiatstudier med nära anknytning till dammsäkerhetsfrågor, av vilka några är avslutade.

Bland genomförda utvecklingsprojekt kan nämnas metoder för tillståndskontroll av dammar, där några projekt givit så goda resultat att metoderna kommit till användning vid undersökningar av sjunkhål i Bennett Dam i Kanada, som är en av de största fyllningsdammarna i världen.

Utöver rekommendationer och vad som i övrigt anges i rapporter ingående i denna serie finns det skäl att arbeta vidare med frågor som organisation, människa-maskin, beredskap samt en fortsatt satsning på forsknings- och utvecklingsinsatser både nationellt och internationellt inom såväl traditionella dammsäkerhetsfrågor som beträffande de ovan nämnda.

11. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Flödeskommitténs riskklassindelning och dimensioneringsregler innebär att kraven ökar väsentligt på dammar som hänförs till klass I vad avser dimensionerande flöde. Ett dammbrott kan orsaka stora konsekvenser och huvudansvaret för en damms säkerhet ligger hos ägaren.

Flödeskommitténs riktlinjer uppfattades när de kom ut år 1989 av många att innebära väl höga flöden, men efterhand som genomräkningar skett av olika älvar och efter erfarenheterna från de flöden som varit i Sverige både 1993 och 1995 och de våldsamma flödena i Norge och Tyskland 1995 och senare, har denna uppfattning förändrats och en acceptans av riktlinjernas nivå skett.

Utöver rekommendationer och vad som i övrigt anges i rapporter ingående i denna serie finns det skäl att arbeta vidare med frågor som organisation, människa-maskin, beredskap samt en fortsatt satsning på forsknings- och utvecklingsinsatser både nationellt och internationellt inom såväl traditionella dammsäkerhetsfrågor som beträffande de ovan nämnda. Detta arbete har redan inletts.

Det är angeläget att den anpassning till Flödeskommitténs riktlinjer som påbörjats genomförs på ett ansvarsfullt och kompetent sätt och även lämpligt att i detta sammanhang en bred översyn av säkerhetsnivå görs, så att den höjning av dammsäkerhetsnivån som Flödeskommitténs arbete syftar till verkligen kommer att uppnås, även där andra faktorer än höga flöden innebär en påtaglig riskfaktor. Det kan t ex gälla dammens konstruktion eller dess aktuella tillstånd. Synnerligen angeläget är det naturligtvis att dylika andra faktorer i tid beaktats där ombyggnader skall ske, så att inte stora resurser förspills utan att den avsedda säkerhethöjningen uppnås. Riskanalys bedöms vara ett värdefullt verktyg i dammsäkerhetsarbetet, bl a i detta sammanhang.

Ett incidentrapporteringssystem bedöms ge möjlighet till att systematiskt arbeta vidare med att finna förbättringsmöjligheter vad gäller dammsäkerhet. Ett sådant system är under framtagande för dammsäkerhetsområdet.

I vissa fall kan osäkerhet finnas om inverkan av vissa faktorer. Det kan då rekommenderas att känslighetsanalyser görs, så att detta blir belyst. Exempelvis kan osäkerhet om den verkliga avbördningsförmågan hos utskov beaktas genom att analysera vilka vattennivåer i magasinet, som blir följden av olika antaganden. Är osäkerheten stor bör där så är möjligt även provning ske. Ett systematiskt sätt att analysera och utvärdera dammsäkerheten i befintliga dammar är den så kallade SEED-analys (Safety Evaluation of Existing Dams), som tagits fram av Bureau of Reclamation och tillämpas i USA och på fler håll i världen. Motsvarande fördjupade dammsäkerhetsutvärderingar har genomförts för ett antal dammar i Sverige och rekommenderas i kraftindustrins riktlinjer för dammsäkerhet, RIDAS.

Under anpassningsprocessen för de befintliga dammarna är det även viktigt att noggrant gå igenom olika tänkbara händelser och på så sätt lära sig systemets funktionssätt och dessutom få en mental beredskap även för helt oväntade kombinationer av händelser i samband med höga flöden. Av denna anledning är det också angeläget att ansvarig personal vid älvarna deltar i eller följer arbetet. Angeläget är också att instruktioner och befogenheter klarställs, så att de åtgärder som förutsätts vid dimensioneringsarbetet verkligen genomförs

om behov skulle uppstå. Motsvarande gäller avtal mellan olika företag, som i en kritisk situation måste samverka på ett effektivt sätt. Det är också nödvändigt att dammsäkerhetsfrågorna beaktas, t ex vid ett ökat utnyttjande av entreprenörer eller då bemanningen förändras, vilket kan påverka utryckningstider och därmed innebära att behovet av och krav på säkerheten hos system för automatisk övervakning och styrning ökar vad gäller t ex utskovsluckor.

12. REFERENSER

12.1. VASO dammkommittés utrednings- och utvecklingsprojekt

1. **Huvudrapport (föreliggande rapport)**
Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft
2. **Main report**
Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft
3. **Dimensionerande sektioner i vattendrag**
Karl Rytters, VBB Anläggning AB
4. **Skred i nipor**
Rolf Christiansson, Vattenfall Hydropower AB
Erik Anér, Vattenfall Hydropower AB
5. **Verklig avbördningskapacitet**
Nils Johansson, Vattenfall Utveckling AB
Karl Rytters, VBB Anläggning AB
6. **Drivgods vid dammar**
Nils Johansson, Vattenfall Utveckling AB
7. **Utskovsluckors funktionssäkerhet**
Stefan Lagerholm, Bengt Lundh, m fl, Sydkraft Konsult AB, m fl
8. **Fuseplug som kompletterande utskov vid befintliga svenska dammar**
Michaela Dan, KTH
9. **Flödesdämpning vid svenska dammar**
Karl Rytters, VBB Anläggning AB
John-Edvin Sandell, Vattenfall Vattenkraft
10. **Vågor i vattenkraftmagasin**
Klas Cederwall, KTH
Hans Bergh, KTH
11. **Erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänter**
Kenneth Burstedt, Båkab Energi AB
Roy Nilsson, Vattenfall Hydropower AB
Sven-Erik Paulsson, VBB Anläggning AB
12. **Fyllningsdammars förmåga att tåla överspolande vågor**
Åke Nilsson, VBB Anläggning AB
Per Vallander, VBB Anläggning AB
13. **Filter – inventering och funktionsanalys**
Åke Nilsson, VBB Anläggning AB

- 14. Geomekaniska filter och erosion i tät kärnans krön**
Anders Wörman, Uppsala Universitet
Olivier Blanc, CTH
- 15. Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning**
Åke Nilsson, VBB Anläggning AB
Roy Nilsson, Vattenfall Hydropower AB
- 16. Åldersförändringar i fyllningsdamm**
Åke Nilsson, VBB Anläggning AB
- 17. Stenfyllningsdammars stabilitet vid genomströmning**
Øivind Solvik, Norge
- 18. Metoder för dammbrottsberäkningar**
Nils Johansson, Vattenfall Utveckling AB
- 19. Betongdammars förmåga att tåla överströmning**
Georg Andersson, Vattenfall Vattenkraft
Bengt Forsberg, Vattenfall Hydropower AB
- 20. Beprövade metoder för tillståndskontroll av fyllningsdamm**
Åke Nilsson, VBB Anläggning AB
- 21. Nyare metoder för tillståndskontroll av fyllningsdamm**
Sam Johansson, J&W Anläggning AB
Maria Bartsch, J&W Anläggning AB
Ola Landin, J&W Anläggning AB
Gerhard Barmen, LTH
Thorleif Dahlin, LTH
Peter Ulriksen, LTH
- 22. Isotopanalys av läckvatten från dammar**
Katarina Losjö, SMHI
Sten Bergström, SMHI
- 23. Övervakning av tät kärnans funktion genom mätning av självpotential och resistivitet**
Carl-Axel Triumph, Triumph Geophysics AB
Hans Thunehed, LuTH
Arne Enström, LuTH
- 24. Övervakning av tät kärnans funktion genom analys av resistivitetsvariationer**
Sam Johansson, HydroResearch
Thorleif Dahlin, LTH
- 25. Tillståndskontroll av betong i vattenkraftanläggningar**
Ulrika Wiberg, Vattenfall Utveckling AB
- 26. Riskanalys i dammsäkerhetsarbetet**
Maria Bartsch, KTH

12.2. Övriga referenser

1. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Slutrapport från Flödeskommittén. Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut 1990.
2. Vattenlagen
3. Jord- och stenfyllningsdammar. Vattenfall 1988.
4. Fångdammar – ras och tillbud vid svenska vattenkraftverk. Vattenfall U 1991/27.
5. Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar. VAST/Vattenfall.
6. Älvsäkerhet. SOU 1995:40.
7. Räddningstjänstlagen (§43). Meddelande från Räddningsverket 1994:2
8. Riskstudie över avbördningsystemet i Stadsforsen, Vattenfall U 1990/ 34.
9. Hydropower '97. E. Broch & D. K. Lysne, N. Flatabø, E. Helland-Hansen. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield 1997.
10. RIDAS – kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet. Svenska Kraftverksföreningen 1997.
11. Hävertutskov för fyllningsdammar. KTH, Vattenbyggnad, report no 39, 1988.

(Beträffande referenser angivna i utdrag ur rapporter, se respektive rapport)

VASOs dammkommitté

Till mottagare av
Flödeskommitténs slutrapport

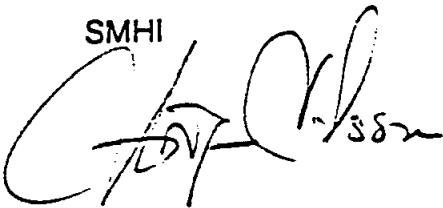
Datum
1993-10-12

Vår ref
B Möller/mm

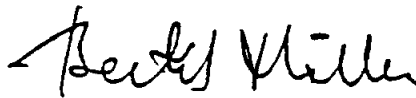
Tillägg nr 1 till Flödeskommitténs riktlinjer

Bilagt översändes ett av SMHI och VASOs dammkommitté överenskommet förtydligande av riskklassificeringen. Som tillägg nr 1 skall detta komplettera riktlinjerna.

SMHI



VASOs dammkommitté



Flödeskommittén avgav i maj 1990 en slutrapport kallad "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar". Därefter upplöstes Flödeskommittén.

För uppkommande behov av kompletteringar och ändringar i Flödeskommitténs riktlinjer har ett samråd etablerats mellan SMHI och kraftindustrin, representerad av VASOs dammkommitté. Samrådet har anmälts till regeringen.

Tilläggen kommer att distribueras av VASOs dammkommitté under adress

Svenska Kraftverksföreningen
Box 1704
111 87 Stockholm
Telefon: 08-790 03 50
Telefax: 08-10 78 28

1993-04-20

UN

Förtydligande av Flödeskommitténs riktlinjer antagna av VASO-damm-kommitté och SMHI

Dammars riskklassificering med avseende på konsekvenserna av höga flöden

Marginaleffekten (skadan) av ett eventuellt dammras är avgörande för dammens riskklassificering.

För att bestämma marginals skadan skall utgå från de förhållanden som råder, om dammen inte rasar utan kan magasinera eller avbörda den tillrinning som enligt nedanstående väljs som grund för analysen. Dessa förhållanden skall jämföras med konsekvenserna av att dammen rasar vid motsvarande tillrinning.

Förenklad metodik för normalfall

I de flesta fall är riskklassificeringen relativt okomplicerad. Med en enkel rimlighetsbedömning kan dessa dammar klassificeras antingen som klass I- eller klass II-dammar.

I syfte att enkelt kunna sortera bort sådana dammar som uppenbart är att hänföra till riskklass II utnyttjas det förhållandet att totalskadan vid dammras under normala flödes- och vattenståndsförhållanden ofta är mer omfattande än marginals skadan vid ras på grund av extrem-flöde.

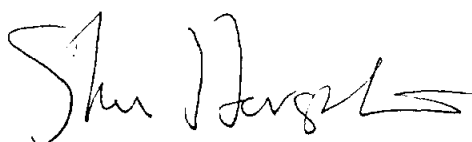
Totalskadan av ett dammras beräknas under förutsättning av vattenstånd vid dämningssgräns och klass II-tillrinning för den analyserade dammen. Vattenstånd vid dämningssgräns och normal högvattentillrinning (MHQ) förutsättes nedströms. Om denna totalskada uppenbart är större än marginals skadan vid ett ras förorsakat av ett högre flöde än dammen tål och den dessutom är så begränsad att det är uppenbart att dammen kan hänföras till riskklass II behöver ingen ytterligare analys genomföras.

Fördjupad analys för gränsfall

För de dammar som ej enkelt kan hänföras till riskklass I eller II enligt ovan får följande fördjupade analys tillgripas.

Först beräknas det kritiska tillflöde vid vilket dammen antas rasa. Därefter beräknas marginaleffekten av detta dammras. Slutligen kontrolleras marginaleffekten av andra högre tillflöden upp till riskklass I-tillflödet. Den högsta på detta sätt beräknade marginaleffekten bestämmer till vilken riskklass den analyserade dammen skall hänföras.

Nedströms belägna anläggningar förutsätts fungera normalt. Nedströms belägna magasin påverkas av avbördningen från den aktuella dammen samt den lokala tillrinningen. På samma sätt som vid den förenklade analysen förutsättes normal högvattentillrinning (MHQ) som samtidig lokal tillrinning för nedanförliggande dammar.



Till mottagare av
Flödeskommitténs slutrapport

Datum
1994-02-08

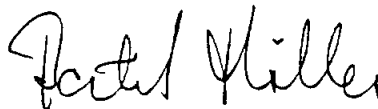
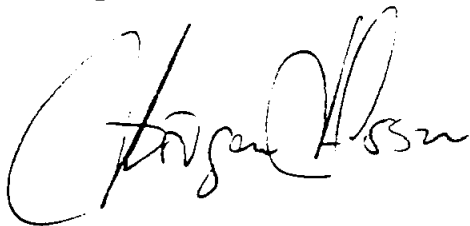
Vår ref
B Möller/mm

Tillägg nr 2 till Flödeskommitténs riktlinjer

Bilagt översändes en av SMHI och VASOs dammkommitté överenskommen **ändring beträffande vindhastighet vid bestämmande av erforderligt fribord**. Detta medför att riktlinjernas punkt B 8 fått en ändrad utformning.

SMHI

VASOs dammkommitté



Flödeskommittén avgav i maj 1990 en slutrapport kallad "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar". Därefter upplöstes Flödeskommittén.

För uppkommande behov av kompletteringar och ändringar i Flödeskommitténs riktlinjer har ett samråd etablerats mellan SMHI och kraftindustrin, representerad av VASOs dammkommitté. Samrådet har anmälts till regeringen.

Tilläggen kommer att distribueras av VASOs dammkommitté under adress

Svenska Kraftverksföreningen
Box 1704
111 87 Stockholm
Telefon: 08-790 03 50
Telefax: 08-10 78 28

1994-01-24

Ändring i flödeskommitténs riktlinjer beträffande vindhastighet vid bestämmande av erforderligt fribord

I riktlinjerna behandlas frågan om erforderligt fribord och därmed också vindhastighet i punkt B8. I punkt C6 och indirekt i D1 anges att reglerna enligt B8 skall gälla. På sid 80 - 81 motiveras ställningstagandet i B8.

Punkt B8 lyder:

"Erforderligt fribord med hänsyn till vattenytans snedställning och förekommande vågrörelser skall för höst- och vinterförhållanden beräknas under antagande av vind i ogynnsammaste riktning med hastigheten 30 m/s för dammar ovanför trädgränsen och 25 m/s för övriga dammar. När fråga är om dammar, för vilka det dimensionerande flödet beräknas inträffa under våren eller sommaren (april - augusti), reduceras värdena med 5 m/s."

I ett VASO-HUVA projekt redovisar 1993-08-16 Hans Alexandersson en forskningsrapport benämnd Sambandet mellan extrem nederbörd och vind. Studien, som visserligen avser endast en vindkomponent, nämligen vinden från nordväst, är betydligt mer djupgående än den analys, som låg bakom flödeskommitténs ställningstagande. Rapportens resultat för den angivna vindriktningen innebär genomgående en sänkning av vindhastigheten i förhållande till vad gällande riktlinjer anger, varför Alexandersson för nordvästliga vindar rekommenderar en sänkning av den kritiska hastigheten till 18 m/s för skogsland, 20 m/s för lågfjäll och 25 m/s för kalvfjäll. De rekommenderade värdena avser hela året.

Vid SMHI har en oberoende prövning av Alexanderssons rapport styrkt att den använda metodiken och resultaten är korrekta. Även VASOs dammkommitté är av uppfattningen att godtagbara resultat erhållits.

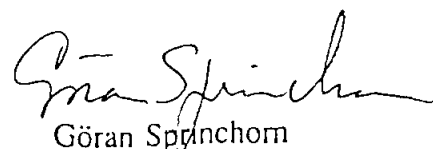
Flertalet av landets i sammanhanget mest betydelsefulla dammar torde vara belägna i områden, där nordvästvindar ger de kraftigaste utslagen, men även andra vindriktningar kan komma i fråga. Mot bakgrund dels härav och dels av det positiva omdömet om metodiken i den genomförda studien har dammkommittén tillstyrkt att VASO-HUVA projektet utvidgas med studium även av effekten av andra vindriktningar.

Emellertid är det av betydelse för de i landet verkande älvdimensioneringsgrupperna att snarast få ett besked i vindhastighetsfrågan. Med anledning härav beslutas att punkt B8 i riktlinjerna skall ändras och tills vidare ha nedanstående formulering. Efter rapport från den ovan nämnda tilläggsstudien avses att ge B8 en definitiv utformning.

"Erforderligt fribord med hänsyn till vattenytans snedställning och förekommande vågrörelser skall beräknas under antagande av vind i ogynnsammaste riktning med hastigheten 25 m/s för dammar ovanför trädgränsen och 20 m/s för övriga dammar."



Sten Bergström



Göran Spjinchorn

Till mottagarna av
Flödeskommitténs slutrapport

Datum
1995-05-15

Vår Ref
SL

Tillägg nr 3 till Flödeskommitténs riktlinjer

Bilagt översändes en av SMHI och VASOs dammkommitté överenskommen **ändring beträffande bestämning av 100 årsflödet för riskklass II-dammar**. Ändringen avser riktlinjernas rubrik C, sid 5.

SMHI

Jörgen Nilsson

VASOs dammkommitté

Anders Lindh

Flödeskommittén avgav i maj 1990 en slutrapport kallad "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar". Därefter upplöstes Flödeskommittén.

För uppkommande behov av kompletteringar och ändringar i Flödeskommitténs riktlinjer har ett samråd etablerats mellan SMHI och kraftindustrin, representerad av VASOs dammkommitté. Samrådet har anmälts till regeringen.

Tilläggen distribueras av VASOs dammkommitté med adress
c/o Svenska Kraftverksföreningen
Box 1704, 111 87 STOCKHOLM
Fr o m 1995-06-06 ändras adressen till
c/o Svenska Kraftverksföreningen
101 53 STOCKHOLM
Telefon: 08-790 03 50 Fr o m 1995-06-06 08-677 25 60
Telefax: 08- 10 78 28 fr o m 1995-06-06 08-677 25 65

SMHI

VASOs dammkommitté

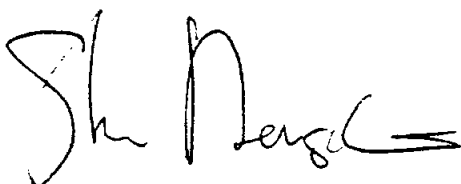
1995-04-03

Förtydligande av Flödeskommitténs riktlinjer vad avser dammar i riskklass II.

Vid tillämpningar av Flödeskommitténs riktlinjer har det visat sig att anvisningarna för dammar av riskklass II inte är helt konsistenta eftersom flera, ibland motstridiga, kriterier anges. VASO-dammkommitté och SMHI har därför enats om en förenkling av riktlinjerna som innebär att punkt 2 och punkt 3 under rubriken C. Anvisningar för nya dammar i riskklass II (sid. 5 i Flödeskommitténs riktlinjer) utgår.

I praktiken innebär förändringen att dammbyggnader i riskklass II skall dimensioneras för 100-års flödet, utan alternativa beräkningsmetoder. Alternativet att för dammar av riskklass II använda ett flöde som är hälften av det som är dimensionerande för dammar av riskklass I utgår alltså. Detsamma gäller den regel som säger att det dimensionerande flödet inte bör understiga den högsta på platsen observerade vattenföringen, ökad med 20 procent. Övriga punkter i anvisningarna under rubriken C. Anvisningar för nya dammar i riskklass II respektive D. Anvisningar för befintliga dammar kvarstår dock.

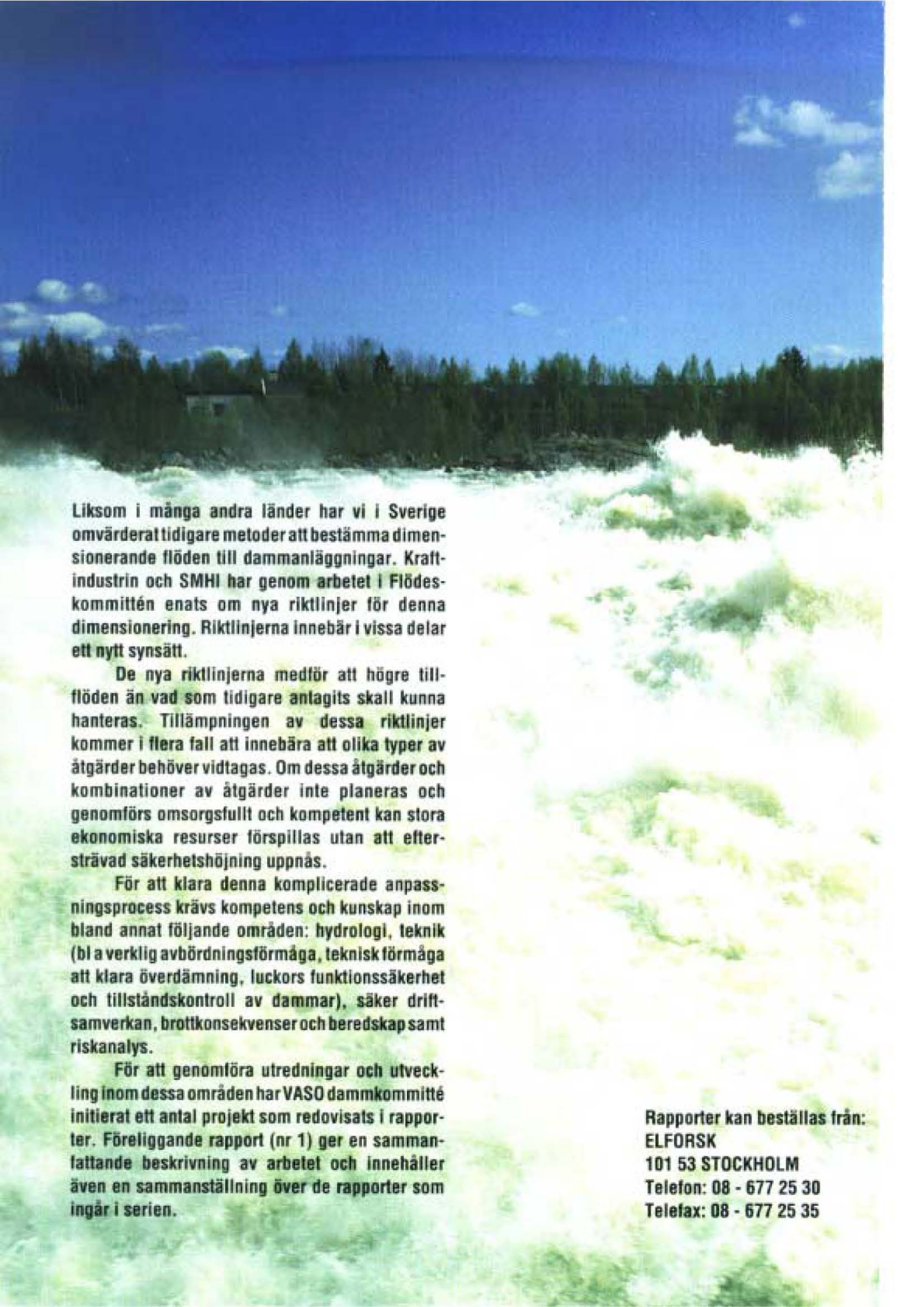
Ett skäl till att alternativa kriterier angavs av Flödeskommittén var svårigheterna att tillämpa frekvensanalys i reglerade vattendrag. Senare genomförda statistiska analyser visar dock att de reglerade och de oreglerade flödena är av ungefär samma storleksordning vid så långa återkomsttider som 100 år. Det är därför acceptabelt att basera frekvensanalysen på den rekonstruerade oreglerade serien, som oftast är längre och mer homogen än den reglerade.



Sten Bergström



Gustaf Sandgren



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 eftersträvd 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 som redovisats i rapporter. Föreliggande rapport (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