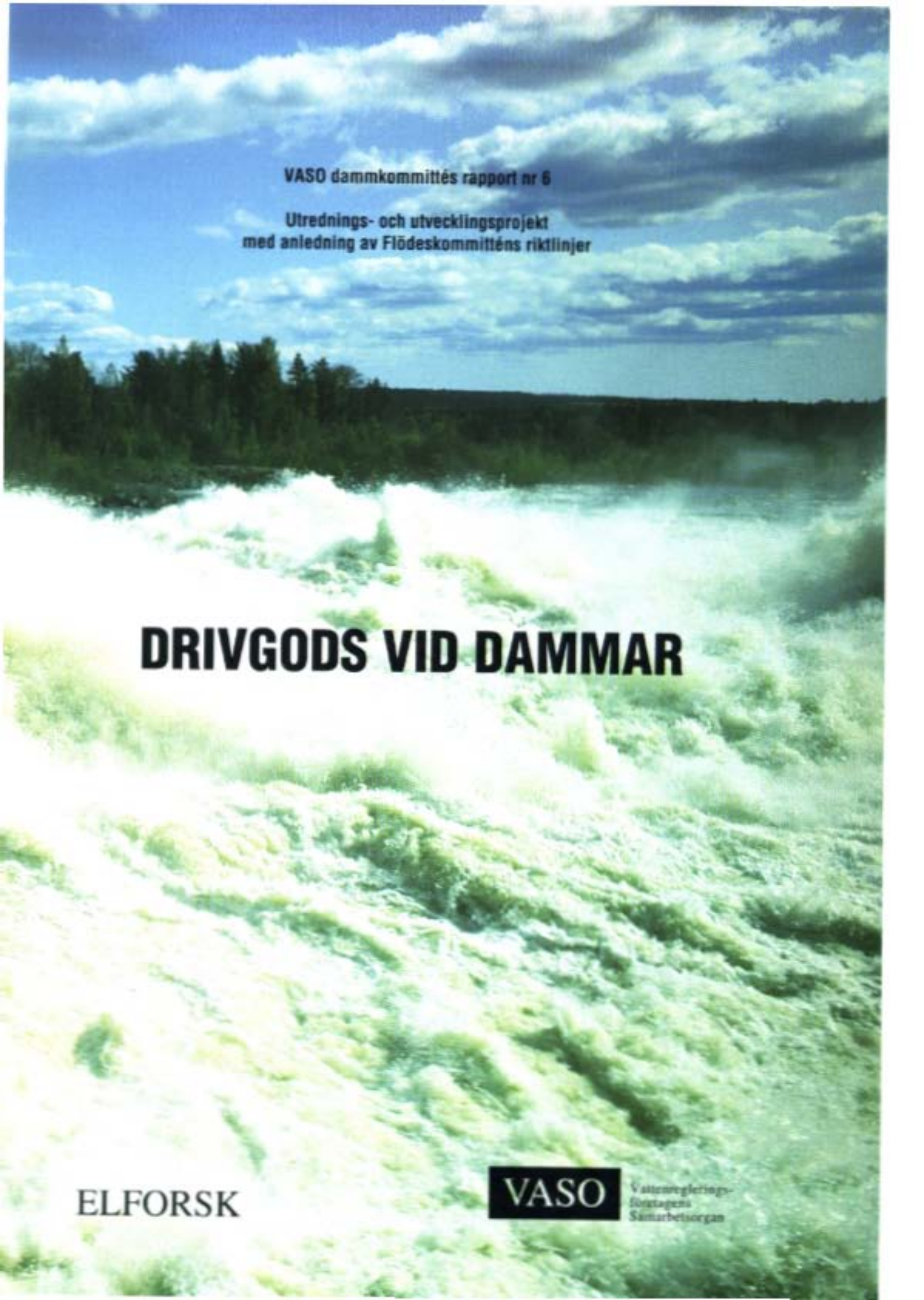




VASO dammkommittés rapport nr 6

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

DRIVGODS VID DAMMAR

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 6

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

DRIVGODS VID DAMMAR

Nils Johansson, Vattenfall Utveckling AB

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

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
SUMMARY	iv
1. INLEDNING	1
1.1. Bakgrund	1
2. FORSKNING INOM OMRÅDET	3
2.1. NHL-studien	3
2.2. Canadian Dam Safety Association	5
2.3. B.C. Hydro	5
3. ERFARENHETER FRÅN HÖGA FLÖDEN	9
3.1. Norrlandsälvarna våren 1995	9
3.2. Norrlandsälvarna hösten 1993	9
3.3. Tidigare händelser i Sverige	11
3.4. Händelser i Norge och Schweiz	11
3.5. Erfarenheter från Kanada	12
4. TYP OCH URSPRUNG AV DRIVGODS I SVENSKA ÄLVAR	23
5. MODELLFÖRSÖK	17
5.1. Genomförande av modellförsök	17
5.2. Skaleffekter	20
5.3. Resultat från försök med ytutskov	22
5.3.1. Försök med solitära ytutskov	24
5.3.2. Försök med sex intilliggande ytutskov	28
5.3.3. Försök med drivgods och vågor	28
5.3.4. Försök utförda vid NHL	28
5.4. Resultat från försök med bottenutskov	29
5.5. Reduktion av avbördningskapacitet vid bröt	30
5.6. Diskussion om modellförsök	32
6. FÖRSLAG TILL HANDLINGSPLAN	35
6.1. Beslutsunderlag för åtgärder	35
6.2. Strategier för drivgodshantering	36
6.3. Sprängkapning	37
7. UTVECKLINGSBEHOV	39
8. DIMENSIONER PÅ UTSKOV I SVERIGE	41
9. SLUTSATSER	43
10. REFERENSER	45

FÖRORD

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

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

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

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

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

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

Föreliggande projekt har genomförts av Nils Johansson, Vattenfall Utveckling AB under medverkan av Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft, som även varit ansvarigt ombud för beställaren.

I rapporten konstateras att drivgods vid normala högtflöden (upp till återkomsttid av 30 à 50 år) inte varit något säkerhetsproblem vid klass 1- och klass 2-dammar, 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 1-dammar enligt Flödeskommitténs definition, så bör de även beaktas vid klass 2-dammar, dels för att dessa säkert skall klara ett 100-årsflöde, dels för att ett dammras i en klass 2-damm kan innebära ett koncentrerat frisläppande av en mängd drivgods, vilket ofta kan ge ett extra riskmoment för nedanförliggande dammar. Rapporten redogör för internationella och svenska erfarenheter beträffande drivgods samt för laboratorieförsök som gjorts i projektet. Förslag på åtgärder lämnas liksom förslag till fortsatt utvecklingsarbete inom området.

Drivgodsfrågorna är viktiga och bör uppmärksammas särskilt i det fortsatta arbetet med anpassning av dammar till Flödeskommitténs riktlinjer och i arbetet med gemensamma riktlinjer för dammsäkerhet. Fortsatt utvecklingsarbete inom området rekommenderas.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

Vid normala högflöden i Sverige har inte drivgods varit något allvarligt säkerhetsproblem, men eftersom utskoven måste fungera som planerat även vid ännu högre flöde, skall åtgärder mot drivgods ses i samband med sådana flöden.

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.

B.C. Hydro i Kanada har gjort en hel del åtgärder mot drivgods helt enkelt för att drivgods där är ett allvarligt dammsäkerhetsproblem redan vid normala högflöden. Kanada verkar överhuvud taget ha kommit längst med lösningen på drivgodsproblemet. Även i Norge har problemet uppmärksamats och modellförsök med drivgods har gjorts för fasta överfallströsklar.

Den vanligaste utskovstypen i Sveriges större älvar är 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 den strömbild som vid ett enskilt utskov klarar att vrida trädet rätt i strömriktningen.

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. Spettluckor förekommer dock normalt inte vid klass I-dammar.

Åtgärder mot drivgods kan vara av olika slag:

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.
4. Nya utskov ges en utformning som minskar risken för igensättning, t ex genom ökad bredd. Aktuellt vid utbyggnad av utskovskapacitet enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöde.
5. Vid befintliga utskov kan detaljutformningen ofta förbättras och därmed ge en ökad möjlighet till passage. Där detta och andra åtgärder inte är tillräckliga, kan ombyggnad behöva ske.
6. Förberedelser för rensning med skogsmaskiner, 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 med utskov som löper stor risk att sättas igen. Val av åtgärd kan även påverkas av om den aktuella dammen tillhör riskklass I eller II (enligt Flödeskommittén), varvid dock bör beaktas den inverkan drivgods, som frisläpps vid dammbrott, kan ha på nedströms liggande damm.

Ofta kan en kombination av åtgärder vara den bästa lösningen

Fortsatt utvecklingsarbete med drivgodsproblematiken är angeläget och samarbete med speciellt Kanada och Norge rekommenderas.

SUMMARY

In connection with the new Swedish guidelines for design flood, adopted in 1990, a general dam safety review is now going on in Sweden. Although the review is not yet finished, we have found so far an increased design flood in a number of rivers. The spillway capacity is thus found to be inadequate in many dams. Some events in other countries and in smaller watersheds in Sweden raised the question if problems with floating debris could result in even lower spillway capacities than the nominal. In southern Norway in October 1987 a rainstorm resulted in dam safety problems. Floating debris affected the gate operation as well as the spillway discharge capacity. This was one of the events that prompted a research project at the Norwegian Hydrotechnical Laboratory in Trondheim, Norway. The Norwegian study dealt with floating trees and free overflow spillways.

In Canada B.C. Hydro has also experienced dam safety problems related to floating debris.

In Sweden floating debris has not been considered to be a threat to dam safety under the usual annual high flood conditions. But under extreme high flow conditions we have to consider floating debris in the rivers, such as trees. The experience from Norway and other countries and also from local high floods in smaller watersheds in Sweden indicates the probability that floating debris could be a danger to dam safety.

Gated overflow spillways are the most common type of outlet structures in Sweden. Hydraulic model tests with this type of outlets have been performed. The results from the model tests aim at increasing the understanding of the behaviour of floating debris and pointing out important factors for allowing debris to pass a spillway opening in a dam.

The model tests have been performed in two hydraulic models originally built for other purposes.

Model I has three dams separated by two islands. One of the dams has six gated spillways. Tests have been performed with this dam with both one spillway open and with all six spillways open. The inflows to the spillways are straight and the water is shallow upstream of the dam.

The second dam has eight gated spillways. The inflows to the spillways are not straight and the water upstream of the dam is deeper than in the dam first mentioned. Tests have only been performed with one spillway open, the spillway located furthest downstream which has the most inclined inflow conditions.

Model II has one gated spillway. The inflow to the spillway is straight and the water deeper compared to the other dams.

Small pine and spruce plants were used as model trees. The root diameter is about 16% of the trees length, a measure found in the Norwegian study. Pine and spruce are the most common trees in Sweden.

To describe the flow conditions and the length of the tree in relation to the spillway the dimensionless parameters H/B and L/B are used.

Where

H is the overfall height

B is the spillway opening and

L is the tree length, the root excluded.

The trees were thrown randomly into the model upstream of the spillway one by one or in some cases in pairs. Observations were made to determine if the tree passed through the spillway opening or not. Three categories – A, B and C – were used to characterize the results.

A tree that passed the spillway opening was placed in category A. A tree that did not pass the spillway opening but due to scale effects perhaps would in the prototype, was placed in category B. A tree judged to be permanently stuck across two dam pillars was placed in category C.

At least 50 trees or pairs of trees were used for each model test. If one tree was stuck, one more tree was allowed to try to pass. If both trees passed after the second tree hit the first, both trees ended up in category A. If the first tree was still stuck, it was placed in category B or C. The spillway opening was then cleared and the test proceeded.

A single tree approaching a spillway opening with no other spillway openings around has the ability to turn in the flow direction and pass the spillway opening without any problems. When two trees entangled with one another approach the same spillway opening they do not pass easily. One tree can turn in the direction of the flow but on account of the other tree it may be turned across the dam pillars. This behaviour rarely occurred with only one spillway open.

For the first mentioned dam a single tree with $L/B = 1.5$ and $H/B = 0.4$ has 92% probability of passing if one spillway is open, if all six spillways are open the probability is decreased to 55%. When two trees entangled with one another approach one open spillway, the probability to pass is 64%. For other spillway designs the above-mentioned probabilities are different. The example only illustrates what happens under different conditions. The model tests also revealed the importance of a good spillway design where details can make the difference.

The reduction in spillway capacity due to a debris jam in the spillway opening was tested in model II. The debris was trees with $L/B = 1.5$ – 2.5 and they were thrown into the water until stationary conditions were reached, which showed that more trees did not affect the discharge capacity because of the low velocities in the outer boundary of the debris mat. The reduction in discharge capacity was highest for small values of H/B , for $H/B = 0.31$ the reduction was 12% but for $H/B = 0.71$ the reduction was only 4%.

Steps against debris in order to avoid problems can vary:

1. Make an inventory of the area upstream of the dam in order to find possible sources of debris.
2. A management plan for the area is determined where e.g. trees higher than 1.5 times the spillway opening are taken down, erosion protection is performed etc.
3. Log booms to retain or lead the debris to a suitable spillway.
4. New spillways with an improved design in order to minimize the risk for a debris jam.
5. Preparations for clearing the spillways from debris jams by using machines, blasting etc.
6. Improve the design of old spillways to increase the probability of trouble free passage of debris.

A combination of these steps could be the best solution. One must look upon the whole river system and be aware that a solution of debris problems at one dam may affect a dam downstream.

1. INLEDNING

Drivgods under normala flödesförhållanden i en älv är knappast ett allvarligt säkerhetsproblem. Det är under extrema flöden (här avses flöden med återkomsttider från 50 år upp till Flödeskommitténs dimensionerande flöde) som det är viktigt att utskoven verkligen kan avbörda det vatten de är dimensionerade för. Det hör till sakens natur att de extrema flödestillfällena är mycket sällsynta. Vi måste icke desto mindre tänka igenom och försöka förutsäga vad som kan hända för att kunna göra de förberedelser som är möjliga.

Det man fruktar skall hända om okontrollerade mängder drivgods sätter igen utskoven i en damm under en extremflödessituation är att avbördningsförmågan minskar så mycket att dammens krön överströmmas och dammen rasar. Vi kan jämföra detta scenario med vad som hände i Noppikoski 1985. I Noppikoski kunde inte sättarna i utskovet lyftas bort sedan spelet fastnat varpå dammen överströmmades och rasade. Detsamma skulle kunna hända om utskovet blev igensatt med drivgods under en högflödessituation.

Risken för att både ett högt flöde och en stor mängd drivgods skall uppträda samtidigt är stor då det sannolikt finns en stark koppling däremellan. Häftiga regn kan utlösa skred i branta slänter, höga flöden kan medföra erosion av stränder och starka vindar i samband med oväder kan stormfälla skog ner i älven. När det gäller vindfällan gäller det inte enbart träd alldeles intill älven utan även träd som står på mark som kan översvämmas under högflödesförhållanden.

Denna rapport analyserar om möjligheterna för drivgods i form av träd att passera ett utskov och vilka möjliga åtgärder det finns att förhindra igensättning av utskoven. Resultaten grundar sig på dels egna undersökningar i modell dels utredningar och försök som gjorts på andra håll och som finns beskrivet i litteraturen.

Rapporten behandlar inte drivgodsproduktionen i en älv, dvs antalet träd per timme och kilometer älv. Den ger inte heller något svar på hur drivgodset förväntas uppträda, om drivgodset kommer som enstaka träd eller om det har klumpat ihop sig till en bröt. Den sistnämnda frågan visar sig vara av största betydelse för hanteringen av drivgods.

1.1. Bakgrund

I VASO dammkommittés arbete med dammsäkerhet har drivgods identifierats som ett problem, genom att avbördningskapaciteten och därmed dammsäkerheten kan tänkas försämrats av drivgods.

I Sverige har inte någon större händelse inträffat på grund av igensättning av utskov. Det är främst i mindre vattendrag och i övergivna dammar man haft problem. I de större älvarna har vi inte funnit något fall där drivgods orsakat problem. I "Dammsäkerhet och skydd mot översvämning" [1] nämns dammbrottet i Syslebäck där man säger att flytgods kan ha haft en bidragande orsak till dammbrottet då flytgods antagligen drivit mot utskovet och minskat avbördningsförmågan. Inga såg händelseförloppet och vi får aldrig veta om antagandet är korrekt.

Ett närliggande exempel där man hade problem med drivgods var i Norge under oktoberflommen -87. På sina ställen i Sörlandet nådde höstfloden upp till en 100 års flod, dvs ett flöde som man i genomsnitt kan förvänta sig en gång per 100 år. Vid några dammar hade man stora problem med drivgods som fastnade i utskoven och en lucka gick inte att öppna eftersom drivgods hade kilat fast luckan under brobanan. Händelsen finns beskriven i "Flomavledning ved dammer. Erfaringer fra oktoberflommen 1987" [2].

Även om inga svåra olyckor inträffat i Sverige på grund av igensättning av utskov måste man ta problemet på allvar. Man måste säkerställa att inte en olycka inträffar på grund av drivgods och att utskoven kan avbörda den vattenföring de är dimensionerade för. Förr eller senare kan en extrem flödessituation inträffa med mycket drivgods i älven och då bör vi vara beredda.

2. FORSKNING INOM OMRÅDET

En litteratursökning har gjorts i två databaser, Fluidex och Comprendex. Andra källor är personliga kontakter med forskare och företag som arbetar med problemet.

2.1. NHL-studien

Norges Hydroteknisk Laboratorium (NHL) har gjort en stor undersökning i två steg. Steg 1 handlar om enstaka träd och dess förmåga att passera en fast överfallströskel med eller utan pelare och brobana över tröskeln. Steg 2 handlar om brötar av träd, grenar och kvistar och dess förmåga att passera en fast överfallströskel samt de förankringskrafter som behövs för att hålla igen bröten i det strömmande vattnet. Undersökningen är beskriven i "Tillstopning av flömlöp" [3].

Förhållandet mellan rotdiametern och trädets höjd bestämdes till 0,16 i en utredning från Norges lantbrukshögskola i Ås. Samma utredning visar att trädhöjden för gran, tall och björk kan bli upp till 25-30 m.

I modellförsöken användes granplantor med en längd på 25, 31 och 33 cm och ett rotsystem inom diametern 5 cm för samtliga längdklasser. Man konstaterar att modellträden var för styva, i verkligheten böjer sig träden mer och att träden i verkligheten bryts sönder lättare om de lägger sig tvärs utskovspelarna.

Modellförsöken i steg 1 handlar om trädets förmåga att passera fasta överfallströsklar där överfallshöjden varierade från 0,8 m till 1,9 m, dvs en betydligt mycket lägre överfallshöjd än vid ett normalt ytutskov med segmentluckor som är en vanlig typ av utskov i Sverige. Man konstaterar att genomgångsprocenten, dvs andel träd i procent som passerar, ökar från 24% till 93% när överfallshöjden ökar från 1,12 m till 1,70 m för träd med 10 m höjd och rotdiameter 1,6 m. För överfallströsklar med bropelare på tröskeln rekommenderas ett avstånd mellan bropelarna på minst 0,8 gånger trädhöjden för att undgå risken för alltför stor fara för igensättning. Detta förutsätter då en tillräcklig överfallshöjd så att inte träden fastnar på grund av detta.

När man i försöken placerade en brobana över överfallströskeln kunde träden fastna på ytterligare två sätt. Det ena var att det vertikala avståndet mellan krönet på överfallströskeln och brobanans underkant blev för litet. I försöken kom man fram till att detta avstånd bör vara minst 0,14 gånger trädhöjden om man fortsatt antar att rotdiametern är 0,16 gånger trädhöjden. Det andra sättet som träd kan fastna under en brobana är om det nedströms överfallströskeln finns ett stup. Ett träd kan då kila fast sig mellan överfallströskeln och brobanans underkant. Man rekommenderar att nedströms stup inte får vara större än 1/3 av trädhöjden för att inte få en betydande igensättning.

Modellförsöken i steg 2 handlar bland annat om hur mycket överfallshöjden måste stiga för att en bröt som fastnat på en fast överfallströskel skall börja ge med sig. Om den fasta överfallströskeln saknar bropelare räcker överfallshöjden 1,3 till 1,7 m, med bropelare krävs överfallshöjden 1,6 till 2,0 m för att minst 80% av brötens träd skulle passera.

Avståndet mellan bropelarna var i försöket motsvarande 11,7 m och träden i bröten 10 m. Vi ser av ovanstående att de undersökta förhållandena är av mindre betydelse för typiskt svenska utskov. Fasta överfallströsklar med brobana och bropelare är inte en vanlig design i Sverige.

Undersökningen i steg 2 med förankringskrafter för en bröt är dock användbar. Kan man inte med rimlig sannolikhet få ut drivgods genom en damms utskov är ett alternativ att fånga upp drivgodset med en läns. För bedömning av kraften i länsen är resultaten i steg 2 användbara.

Försöken gjordes genom att mäta strömkraften på en bröt placerad i en ränna. Man observerade att vid en gränshastighet på vattnet ökade strömkräfterna snabbare. Vid gränshastigheten dök bröten ned i vattnet och överspolades.

I rapporten anges att gränshastigheten är 0,3 m/s i modellen och att gränshastigheten i verkligheten blir $0,3 \cdot \sqrt{\lambda}$ där λ är den geometriska skalan. Med modellbrötens bredd på 0,5 m och exempelvis verklig brötbredd på 10 m fås $\lambda = 20$ och gränshastigheten i verkligheten till 1,35 m/s.

Strömkräfterna på en bröt anges till

$$F = C_d \cdot b (30t + l) \cdot \rho \cdot v^2 / 2 \text{ N}$$

där

F = kraften (N)

C_d = 0,06 för vattenhastighet under gränshastighet

b = brötens utbredning vinkelrät strömriktning (m)

t = brötens djupgående (m)

l = brötens längd i strömriktning (m)

ρ = 1 000 kg/m³, vattnets täthet

v = vattnets strömshastighet (m/s)

Bidrag från vind och vågor anges uppgå till 20–25% av bidraget från vattenströmmen räknat med en strömshastighet på 1 m/s, vindhastighet 20 m/s och våghöjd 0,3–0,5 m. Observera att strömshastigheten gäller den lokala ythastigheten och inte medelhastigheten i tvärsnittet.

En kommentar om gränshastigheten är på sin plats. En jämförelse kan göras med ett flytande isflak som pressas mot en fast iskant av en vattenström. Problemet finns beskrivet i "River and Lake Ice Engineering" [4].

Den enklaste ansatsen är att vatten strömmar upp på flakets ovansida och pressar ned det i vattnet när hastighetshöjden $v^2/2g$ överstiger isflakets fribord. Ansatsen verkar strömningstekniskt sund och betyder att gränshastigheten för en bröt inte kan bygga på brötens utbredning vinkelrät strömningsriktningen. Det är snarast hur högt träden flyter närmast uppströmsranden som bestämmer om bröten skall dyka och förorsaka högre strömkrfter.

2.2. Canadian Dam Safety Association

Canadian Dam Safety Association har i ett förslag till dammsäkerhetsföreskrifter, "Safety Requirements and Guidelines for Existing Dams" [5] slagit fast att drivgods skall hanteras så att inte utskoven påverkas negativt och inte hotar säkerheten i dammens funktioner.

Man skiljer på dammar med stora konsekvenser vid dammbrott respektive små konsekvenser vid dammbrott, liknar vår klassificering i klass I- och klass II-dammar. För motsvarande klass I-dammar skall kraven bestämmas av en kvalificerad ingenjör under varje formell dammsäkerhetsgranskning. Bland annat skall en inventering av drivgods göras för varje magasin där man identifierar drivgodsets typ och storlek, ursprung, volym och rörelser. En uppskattning skall också göras av drivgodsproduktionen av nytt drivgods som kan komma till magasinet under en medelmåttig och extrem flödessituation.

En beräkning skall också göras av sannolikheten att drivgods kan skada eller sätta igen utskoven. Man räknar också upp olika sätt att hantera drivgodsproblemet enligt följande:

- Kontroll av drivgodsproduktion
- Insamling och borttransport (länsar och uppsamlingsområden)
- Skydd av utskov och intag med länsar
- Förbättrad design av utskov genom större utskov och borttagande av pelare
- Kvittblivning genom kompostering, bränning etc

Många av ovanstående idéer är värda att undersöka närmare för att se om de kan användas i Sverige. Några av punkterna känns främmande, en svensk älv har antagligen mycket lite drivgods liggande strandat längs stränderna. I Sverige gäller det närmast nyproduktion av drivgods genom vindfällning, erosion och skred som kan förorsaka problem vid våra dammar.

2.3. B.C. Hydro

B.C. Hydro i Kanada är ett kraftbolag som kan jämföras med Sveriges största, Vattenfall AB, när det gäller vattenkraft. B.C. Hydro spenderar mellan 1 och 2 miljoner CAN \$ årligen på hantering av drivgods. För B.C. Hydro är det en hög kostnad men de menar att kostnaden för att inte ta sig an drivgodset kan bli ännu högre.

I en artikel "Dams + Debris = Danger" [6] från B.C. Hydro redovisas två "nära katastrofer" där enbart slumpen räddade dammarna från dammbrott. I båda fallen var drivgods inblandade i händelseförloppet och detta har naturligtvis bidragit till B.C. Hydro's stora intresse för drivgodsfrågor.

I ett antal artiklar, se [7] och [8] och i preliminära riktlinjer för "Reservoir Debris Management" och "Guidelines for Debris Boom Design", utvecklar B.C. Hydro sin filosofi beträffande drivgods.

För de magasin som B.C. Hydro ansvarar för är källan till drivgods till en del gammal skog som dämts över när magasinerna första gången fylldes. Detta gäller främst gamla magasin, för magasin från senare tid har kraven på huggning och rensning före första fyllning varit hårdare.

Andra källor till drivgods kan vara stormfällning av träd närmast strandkanten, erosion av strandkanten, antingen av strömkraften eller vindinducerade vågor.

Skred av olika slag kan tillföra magasinens drivgods. Faktorer som anses öka faran för skred är vägbyggen och kalhyggen. Sedan gammalt strandat drivgods kan vid en höglödes-situation åter bli flott och biflödena kan också föra med sig mängder av drivgods.

En kommentar till B.C. Hydros källor till drivgods är att flera av dem känns främmande för svenska förhållanden. Terrängen runt våra vattendrag och magasin är för det mesta inte skredfarlig vid normala högvattenföringar och gammalt strandat drivgods är också sällsynt. Det finns dock gammalt sjunktimmer från flottningstiden och frågan är om det kan börja röra sig under en extrem flödessituation.

För att komma tillrätta med drivgodset har B.C. Hydro utarbetat en handlingsplan för drivgods i magasin vilken dock ännu så länge är preliminär. Denna handlingsplan omfattar kontroll av magasinet och dess stränder, insamling och borttagning av drivgods, skydd av dammar och dammens utskov med länsar och omhändertagande av uppsamlat drivgods.

I kontroll av magasin och stränder kan ingå säkring av sluttningar för skred, uppsamling av drivgods från biflöden, samarbete med skogsindustrin om uprensning efter kalhyggen etc.

Insamling och borttagning kan göras med länsar och bogserbåtar. Länsarna kan dels vara för uppsamling dels för styrning av drivgodset in till uppsamlingsområdet. Länsar för styrning bör inte ha större vinkel mot strömriktningen än 30° och de kan bara användas där strömhastigheten är lämplig. Vid för små strömhastigheter kommer vindkrafterna att dominera och blåsa drivgodset efter vindens riktning.

Det finns utarbetat riktlinjer för utformning av länsar, ännu så länge enbart i preliminär form. För dimensionering av länsarna antas krafterna på en bröt av drivgods bestå av formmotståndet och friktionsmotståndet från strömningen i vattnet och luften.

Formmotståndet anges till

$$F = C_d \cdot A \cdot \gamma \cdot v^2 / 2g \text{ N}$$

där

C_d = formmotstånd

A = projicerad area vinkelrät mot strömriktning

γ = specifik tyngd för vatten eller luft (N/m³)

g = jordaccelerationen 9,81 (m/s²)

v = strömningshastighet (m/s)

Formmotståndet C_d anges för en rektangulär platta från 1,2 för $L/D = 5$, 1,5 för $L/D = 20$ till 1,95 för $L/D = \infty$. L måste här tolkas som brötens utsträckning i strömriktningen och D som brötens tjocklek i det medium som omströmmar det. Ovanstående gäller för $Re > 10^3$. För en cylinder anges C_d till 0,74 för $L/D = 5$, 0,9 för $L/D = 20$ och 1,2 för $L/D = \infty$. Gäller för $Re < 10^5$.

En kommentar om de angivna värdena på C_d är att de nog bör ses över och att bättre information om vilka värden som skall användas bör ges.

Friktionsmotståndet från luftströmningen anges till

$$F = \frac{(w/g) \cdot v^2 \cdot B \cdot L}{(8,5 + 5,75 \log(\frac{Y}{k_c}))^2} \quad \text{N}$$

där

w = specifik tyngd för luft (N/m^3)

g = jordacceleration $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

v = vindhastighet (m/s)

B = bredd av bröten

L = längd av bröten i vindriktning

Y = $10,0 \text{ (m)}$ (IES standard för vindmätning)

k_c = ekvivalent råhet för bröt (m)

där $k_c = 0,03 + 0,5 \cdot t$

där t = medelhöjd av bröt (m)

Vid dimensionering av länsen för belastning av brötens friktionsmotstånd i vattnet anges följande formel

$$F = \frac{w \cdot v^2 \cdot n^2 \cdot B \cdot L}{0,79 \cdot h^{1/3}} \quad \text{N}$$

där

w = specifik vikt för vatten (N/m^3)

v = vattenhastighet (m/s)

B = bredd av bröten (m)

L = längd av bröten (m)

h = vattendjup under bröten (m)

n = Mannings tal, engelsk version ($n = \frac{1}{M}$)
för brötens undersida ($\text{s/m}^{1/3}$)

Vid dimensionering av länsen för belastning av brötens form- och friktionsmotstånd skall enligt B.C. Hydro olika kombinationer av vindhastighet och vattenhastighet användas. B.C. Hydro har också utarbetat ett schema för uppskattning av den mängd drivgods som kan komma på drift i ett magasin. Man ser där på vilken erosionshastighet man har på stränderna. Underlaget för bedömning av erosionshastighet kan vara gamla flygfoton som jämförs med nya flygfoton. För stormfällning anges att träd som står närmare än halva trädhöjden från strandlinjen riskerar att bli drivgods.

För skred beräknar man hur stora ytor som kan rasa ut per år och då med hänsyn tagen till accelererande faktorer som vägbyggen och kalhyggen. Sluttningar med lutning 20° till 45° anses vara farligast och producerar mest drivgods.

Från biflödena beräknas också drivgodsinflödet med utgångspunkt i samma beräknings-teknik som för magasinen.

För samtliga källor gäller att man måste hålla reda på skogsbeståndet i det område som kan beröras så att man som slutresultat får en volym i m³ av drivgods som kan produceras.

B.C. Hydro nämner också att drivgods tenderar att bilda brötar vilket komplicerar flottning av drivgods genom utskov. Hur snabbt denna brötbildning sker finns ingen uppgift om.

3. ERFARENHETER FRÅN HÖGA FLÖDEN

3.1. Norrlandsälvarna våren 1995

I den oreglerade Åreälven var vattenföringen den hittills högsta uppmätta och enligt SMHI var det minst ett 100-årsflöde. Vid Tångböleströmmen inträffade ett större ras (efter vårflodens kulmen) som uppskattats till minst 100 000 m³ (ca 300 m³ långt, 20 m högt och 20 m brett). Vattnet blev väldigt grumligt och många hela träd följde med strömmen. Inga problem med igensättning uppstod vid det nedanförliggande kraftverket i Mörsil. Via en läns uppströms kraftverket styrdes allt drivgods till flottningsutskovet. Drivgodset har sedan hamnat i Storsjön tillsammans med bråte som lossnat efter Storsjöns stränder.

I Härkans övre del (oreglerat biflöde till Indalsälven) var vattenföringen den hittills högsta uppmätta. Ganska mycket hela träd eroderades loss och kom ner i den reglerade sjön Hotagen. Dammen i Hotagen har ett segmentutskov och ett flertal spetluckor. För att undvika risken för igensättning togs mycket drivgods om hand från båtar innan det kom fram till dammen.

I Vindelälven var flödet det hittills högsta uppmätta och var enligt SMHI minst ett 100-årsflöde. Omfattande översvämningar i bl a Sorsele, skadade broar och underminerade stränder, medförde ganska mycket drivgods med bl a hela träd som kom flytande ett och ett. Inga problem har rapporterats från utskoven i Stornorrfors.

Ett allmänt problem har varit mängden av mindre skräp som fastnat och täppt igen intagsgrindar så att stationen i vissa fall löst ut. Exempelvis kan nämnas att man i Stornorrfors har rensat bort närmare 2 000 m³ skräp. I Krångede där man tagit bort en gammal läns har man börjat fundera på att återställa länsen i det tidigare läget och styra drivgodset genom ett utskov (jfr Mörsils kraftverk).

3.2. Norrlandsälvarna hösten 1993

En rundfrågning gjordes till de större vattenkraftföretagen med anledning av det höga flödet hösten 1993 i vissa av våra norrländska älvar. Frågan var om de observerat ras eller erosion längs älven eller sett drivgods som träd, bryggor etc som passerat eller fastnat på något sätt i utskoven.

Svaret blev ofta att man inte sett något drivgods i utskoven, varken som fastnat eller passerat, men att man fått mer skräp på grindarna i kraftstationsintagen. Detta kan tolkas som att det antagligen gått en del drivgods i utskoven också men att det inte ställt till med några problem.

Nu var inte flödet speciellt stort jämfört med det dimensionerande extremflödet. Man får inte dra slutsatsen att man under sådana förhållanden inte kan få problem med drivgods. Flödet var enligt referens [9] egentligen inte stort. Återkomsttiden sett på årsbasis och oreglerad älv var i Luleälven 5 år, i Umeälven 9 år och i Ångermanälven 8 år. Sett som enbart höstflod var den dock betydande. I Luleälven har den som höstflöde en återkomsttid på 27 år, i Umeälven och Ångermanälven 1 400 år. Att beräkna återkomsttiden för den reglerade älven är inte meningsfullt eftersom regleringen förstör förutsättningarna för denna beräk-

ning. För höstflöden är återkomsttiden ungefär densamma för oreglerad älv som reglerad älv då man under hösten har magasinerna fulla och dämpningen för den reglerade älven då blir lik den oreglerade.

Man har dock vid några platser noterat erosion eller skred, två processer som kan producera drivgods om de blir av större omfattning. I Björkvattnet, Umeälven, uppges det att erosion av strand medfört att några träd har fallit.

Nedströms Ajaure, också i Umeälven, inträffade ett skred i en brant nipa. Inga av de träd som växte i nipan tros ha hamnat i älven. I Ajaure har man också observerat rötter på intagsgrindarna. Rötterna måste komma från de träd man avverkade när man tog upp dämningen. Dylika rötter har förmodligen också passerat utskoven men utan att ställa till problem.

Längre nedströms i Umeälven har man också observerat smärre erosionsskador. Uppströms Bålforsen och Betsele och på Hållforsens dämningssområde finns vissa erosionsskador på stränderna men man har inte observerat något drivgods som en följd av detta.

I Stornorrfors har man sett en del drivgods, dels vid intaget på grindarna men också att drivgodset utan problem passerat utskoven. Nedströms Stornorrfors utskov finns en parkering vid laxhoppet och där har en del drivgods i form av träd, sjunktimmer etc fastnat. Under hela sommarsäsongen uppskattar man att ca 1 000 m³ strandat drivgods i löst mått har tagits bort.

I Ångermanälven har vi fått uppgifter på att Vägverket börjat intressera sig för området vid Översel, strax uppströms Forsmo. Man är rädd för att de branta niporna skall rasa ut i älven. Sannolikheten att detta skall inträffa i samband med häftiga regn och därmed högt flöde i älven behandlas inte i denna rapport. Häftiga regn kan vara en bidragande orsak till ras, se utredningen "Skred i nipor" [10] i denna serie.

I Luleälven rapporteras att ett och annat träd, bryggor och båtar passerat utskoven utan problem och att skräpet tenderar att fastna på intagsgrindarna så småningom.

I Akkats och Letsi rapporteras förekomst av flyttorv rent generellt. Den brukar uppträda på våren i samband med islossning när vattenytan tas upp. Den kan också uppträda senare på sommaren. Någon ökad frekvens av flyttorv i samband med högt flöde har inte observerats. Torvflaken bryts sönder i utskoven. De är tämligen mjuka under den översta ytan där gräs och småbuskars rötter håller den samman.

Även när torvflaken hamnar på en intagsgrind bryts de ner av strömkrafterna rapporteras det, men där tar det längre tid och en viss hjälp kan behövas ibland för att sönderdela torven.

I nedre delen av Luleälven blev vattnet sedimentförande vilket kan tyda på en viss erosion. Inga skador har dock rapporterats. Maximalt flöde var ca 2 150 m³/s i Boden hösten 1993.

3.3. Tidigare händelser i Sverige

Tidigare nämndes dammbrottet i Sysslebäck men även andra händelser är värda att nämnas.

I Stugusjöns utlopp i Nätraån, Örnsköldsvik, inträffade 1989 en händelse med drivgods. Den gamla dammen var övergiven, dammluckorna borta men fundamenten med gåtar med ca 1 m fri öppning för vattnet stod kvar. Träd som fastnade i öppningen förorsakade en dämning som medförde att Nätraån skar in runt och under ena landfästet av betong som välte, se bild 1a och 1b, sid 14.

En liknande händelse inträffade våren 1977 vid Gammelhyttans damm i Rastälven inom Arbogaåns tillrinningsområde. Gammelhyttans damm ligger vid Lindebysjöns utlopp. Den uppströms Lindebysjön liggande Nyhyttedammen brast i samband med det höga vårflödet. Vattnet från dammen förde med sig en hel del bråte ner mot Gammelhyttans damm.

Hösten 1976 hade ägaren av Gammelhyttans damm tagit bort luckor och sättnar ur båda utskoven, endast gåtarna stod kvar.

Vårflödet förstärkt med vattnet från Nyhyttans rasade damm var så stort att vattnet rann över dammen. Detta var inte något problem så länge utskovsöppningen i dammen var fri. Men mer och mer drivgods fastnade och man kunde inte längre hålla rent. Vad som sedan hände är något oklart men luckgåtarna klarade inte längre belastningen utan bröts av. Luckorna i kraftstationsintaget skadades vilket medförde att intagsrännan överspolades och bröts sönder. Även kraftstationen skadades.

3.4. Händelser i Norge och Schweiz

Även om villkoren är annorlunda i andra länder vad gäller utformning av utskov, tillrinningsområdets topografi och hydrologi kan det vara på sin plats att se vad som kan hända.

I Norge på Sörlandet inträffade i oktober 1987 en händelse som redan refererats i inledningen, se referens [2]. Vid några dammar hade man stora problem med drivgods som minskade utskovskapaciteten och i ett fall kunde en lucka inte öppnas eftersom den kilats fast av drivgods under den uppströms liggande bron.

Längre tillbaka i tiden i Norge har vi den beryktade Storofsen i Glomma 1789. Ögonvittnesskildringar från den tiden talar om att i den strida strömmen flöt djur och hus, timmer och träd om vartannat. På vattnet flöt det så mycket drivgods att det såg ut som en flytande skog i sjön. Mjösa blev nästan helt täckt av buskar och träd och vattnet var så orent att fisken dog och blev oätlig. I maj 1790, dvs året efter, var vattnet fortfarande inte klart.

Ovanstående om Storofsen i Glomma är hämtat från ett inlägg på ett ICOLD-möte i Storlien den 18–19 april 1991.

I Palagnedra i Schweiz inträffade 1978 ett dammras i en anslutande fyllningsdamm. Orsaken var att betongdammens utskov sattes igen av drivgods, se referens [11]. Vattenföringen var ca 900 m³/s, och var den största som uppmätts dittills. Uppskattningsvis förde vattnet med sig 25 000 m³ av drivgods som satte igen de 13 st 5 x 3 m stora utskovs-

öppningarna. Vattnet steg och överströmmade den anslutande fyllningsdammen som rasade. Utskoven var av typen fast överfallströskel med bropelare för den väg som ledde över dammen.

Dammen reparerades och byggdes om så att bron gick rakt över den valvformade betongdammen men nu utan bropelare på överfallströskelns krön.

1981 fick man återigen ett motsvarande högt flöde på ca 900 m³/s, den här gången med mindre mängder av drivgods. Dammen klarade sig utan problem, vilket den förmodligen gjort också 1978 om den då haft den nya utformningen.

3.5. Erfarenheter från Kanada

Vid diskussion med B.C. Hydro i Kanada bekräftades att drivgods där är ett vardagligt problem. Drivgodset är mest gamla träd som legat en längre tid och de kommer från erosion av magasinens stränder, från ej huggen skog vid fyllning av magasinet, vindfällen och skred. Dessutom kommer bidrag från biflöden, små älvar och bäckar där drivgodsproduktionen ser ut på liknande sätt. Beroende på biflodets storlek rör sig drivgodset i genomsnitt ett antal meter per år. Drivgodset har då legat rätt länge och rötter och grenar är avbrutna. Vid större flöden nära dimensionerande flödet kommer allt detta lagrade plus nyproducerat drivgods att transporteras ut i magasinet.

För att hålla reda på drivgodset används bommar i stor utsträckning. Man försöker sedan göra sig av med drivgodset genom att bränna det, men det verkar vara ett visst miljömässigt motstånd mot det.

Svenska förhållanden är vid en jämförelse annorlunda med inga eller små problem under normala högflöden. Beredskap måste dock finnas vid flöden upp mot det dimensionerande flödet. Det drivgods som kan tänkas komma är förmodligen nyproducerat där träden har rötter och grenar mer eller mindre intakta.

4. TYP OCH URSPRUNG AV DRIVGODS I SVENSKA ÄLVAR

Inledningsvis nämndes att vi inte ser på drivgodsproblemen vid normala vattenföringar utan vid extrema flöden och de vattenstånd och vattenhastigheter det innebär.

Det man först tänker på när det gäller drivgods och som sannolikt ger den största volymen drivgods är träd och buskar som kommer flytande med strömmen. Annat drivgods kan vara bryggor, tomfat som ingått i bryggkonstruktion, båtar, husvagnar, om de nu flyter, sjöbodar och annat som flyter och finns löst längs stränderna.

En annan kategori är flyttorv, sjunktimmer och stubbar från den tid man tog uppdämningen. Det finns olika vägar för träd och buskar att hamna i älven. Högt vattenstånd och höga vattenhastigheter kan erodera stranden och träden faller i vattnet. På större magasin kan vinden skapa vågor som eroderar stränderna med samma resultat som vid strömerosion. Skred kan föra ut skogbevuxen mark ut i älven och vindfällan kan hamna i vattnet och dras med av strömmen. En kanske bortglömd faktor är våra gamla torra spillfåror. Många utskov eller kanske de flesta, har aldrig öppnats för fullt vilket måste betyda att skogen haft möjlighet att växa ut i den torrlagda spillfåran.

Om och när vi får ett extremflöde kan vi helt klart få en stor drivgodsproduktion från en sådan spillfåra. Vid en provtappning med 800 m³/s i Satsjaure september 1993, drogs gamla stormfälda torrfuror med ner i Langas. Även växande träd följde med efter erosion runt rötterna. Maxflödet var på en kort tid, längre tid hade kanske gett mer drivgods.

För att få en uppskattning av vilka områden som kan beröras av vattnets eroderande verkan kan man göra en vattenståndsberäkning. Det kan göras med en dynamisk routingmodell typ DAMBRK eller MIKE II eller med en modell för stationär strömning. I båda fallen beräknas samtidigt vattenhastigheten. Beräkningen skall också göras för spillfåran om det är möjligt, ofta är strömningen i spillfåran så komplex med omväxlande under och överkritisk strömning att ett fysiskt modellförsök är enda möjligheten. Ett annat alternativ är att man tar till "på säkra sidan" när det gäller spillfårans nödvändiga röjning för att förhindra drivgodsproduktion. Beräkningen av vattenståndet är också viktigt för bedömning av drivgods från stränderna som båtar, bryggor etc.

Flyttorv är i vissa områden ett problem. I rundfrågningen om den höga vattenföringen hösten 1993 medfört drivgodsproblem kom vi in på flyttorv. Det svar man fick om flyttorv var att den kunde uppträda på våarna vid islossningen när dämningen togs upp. Flyttorven kunde också uppträda senare på sommaren.

I en licentiatuppsats från 1960 [12] beskrivs mekanismerna i flyttorvsbildandet. Enligt den bildas flyttorven när kallt vatten med mycket lösta gaser inne i torven värms upp under sommaren. När vattnet blir varmare kan inte gaserna vara kvar i lösning utan fälls ut som gasbubblor. Torven får då en flytkraft och bryts loss från underlaget. Senare på hösten när vattnet blir kallare löses åter gaserna i vattnet och flyttorven sjunker till botten.

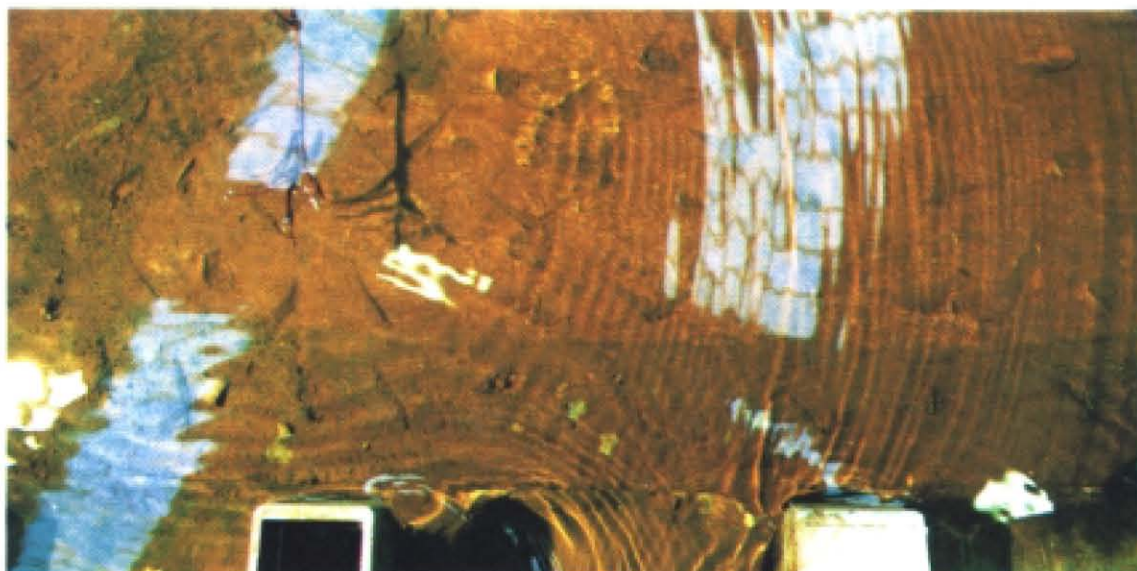
Sjunktimmer vet vi finns i stora mängder på botten i de älvar där timmerflottning bedrivits. Sjunktimmer verkar vara i ständig rörelse, det kommer med mer eller mindre jämna mellanrum fram till kraftstationsintagen. Vid en extrem flödessituation kan man kanske befara att större mängder börjar röra på sig.



*Bild 1a. Utskovet blockerat av stockar mm, som fastnat mot gåtarna. Vy från uppströms-
sidan.*



*Bild 1b. Vattnet har eroderat en fåra vid sidan av betongfundamentet och därvid fällt ett
träd.*



*Bild 2a, b och c. Drivgoods uppträdande i solitärt utskov.
Ett träd framför pelaren dras av vattenströmmen mot utskovet och passerar.*

5. MODELLFÖRSÖK

De försök som utförts i denna utredning syftar till att få fram sannolikheten för att drivgods i form av träd kan passera ett utskov. Med hjälp av de funna sannolikheterna, kan man sedan uppskatta den sammansatta sannolikheten för att utskoven vid en damm kan klara sig ifrån igensättning eller ej, under vissa förutsättningar om drivgodsets storlek och uppträdande. Med uppträdande menas om drivgodset kommer som enstaka träd eller som en bröt. I princip kan detta upprepas för nedströms liggande kraftstationer som får ta emot det drivgods som passerat uppströms liggande utskov plus eventuellt nyproducerat drivgods på sträckan.

Modellförsöken har också gett förståelse för hur träd uppträder när de kommer flytande i strömmen mot ett utskov. Här måste vi skilja på solitära utskov och på grupper av utskov där strömbilden fram till utskoven påverkas av intilliggande utskov. Med solitära utskov menas ensamt liggande utskov som inte påverkas av andra utskov eller intag i närheten. För solitära utskov gäller att träd som ligger tvärs strömriktningen rätar upp sig på ett mycket elegant sätt när trädet närmar sig utskovet. Det kan ses på de videos som har tagits av försöken samt på den statistik över passage av utskov som förts. Trots att ett träd kan vara längre än utskovet är brett är det ändå en liten andel som fastnar tvärs över utskovspelarna. Kommer två träd som sitter fast i varandra kan däremot det ena trädets upprätning i strömriktning betyda att det andra trädet vrids tvärs strömriktningen och att det då kan fastna tvärs utskovspelarna.

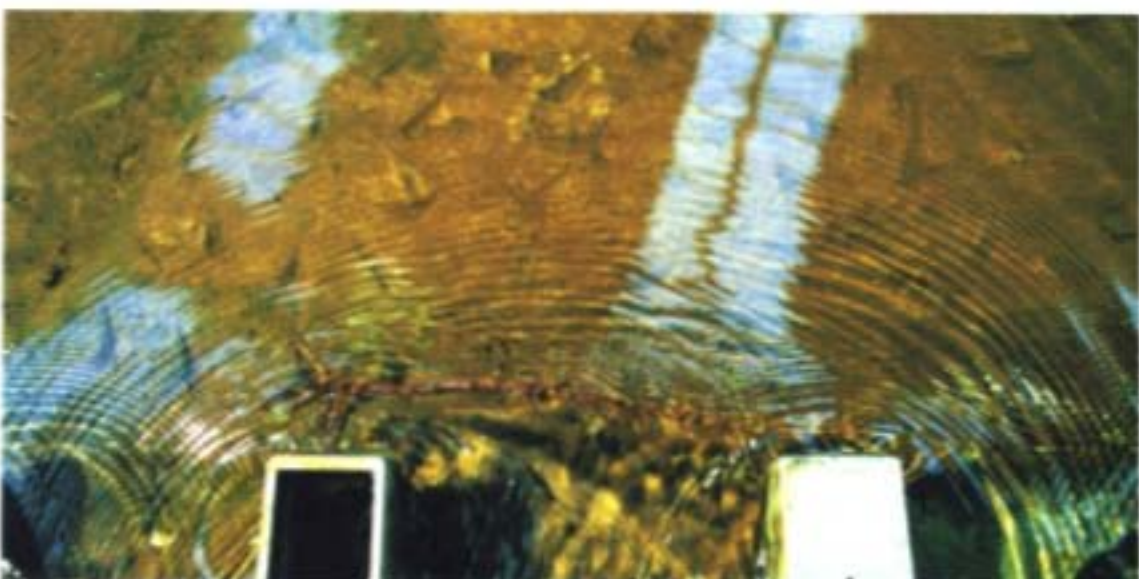
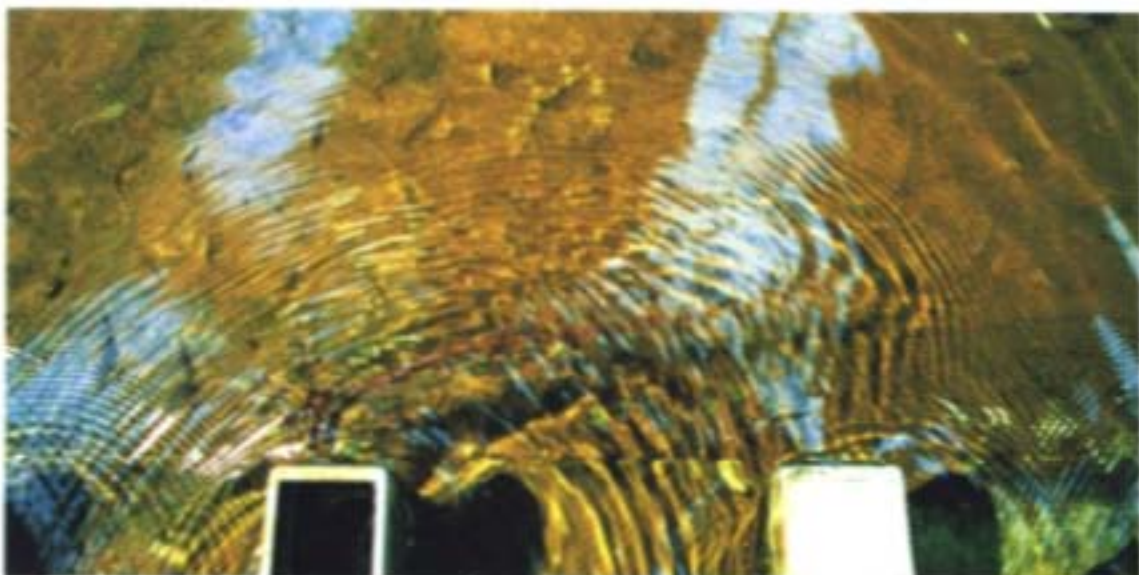
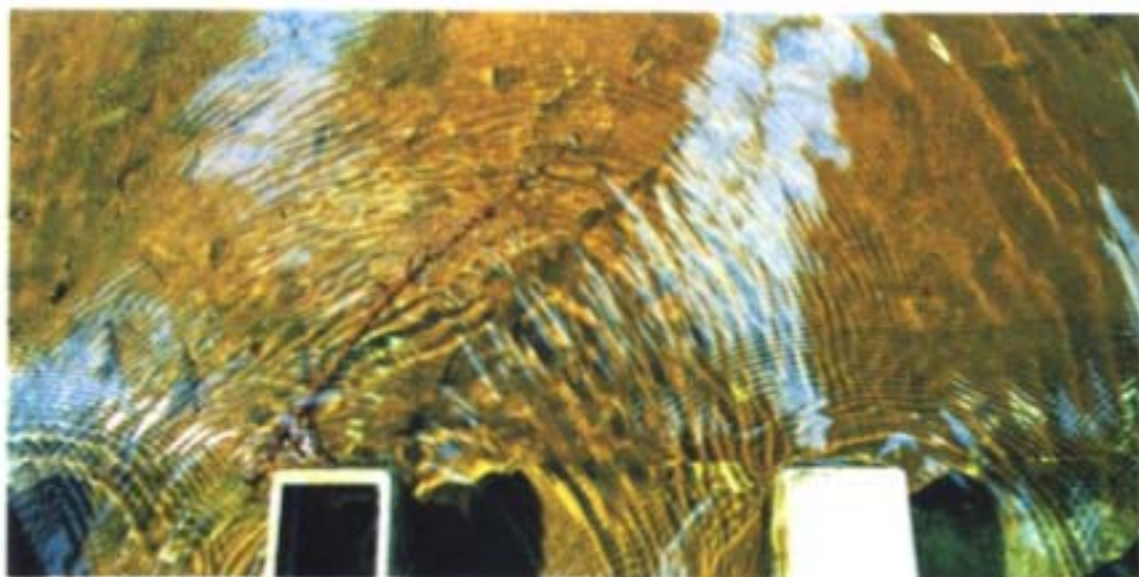
Träd som är på kollisionkurs mot dammpelare förs undan av tvärströmmar som leder in träden i utskovet. Detta syns tydligt i den serie av foton som visas i bild 2. För grupper av utskov där strömbilden fram till utskovet påverkas av intilliggande utskov uppför sig träden helt annorlunda. Träden rätar inte upp sig i strömriktningen när de närmar sig utskoven och inga tvärströmmar för undan träden från pelarnosarna. En relativt stor andel av träden träffar dammpelarna varefter de vrider sig och lägger sig tvärs, se serien av foton som visas i bild 3.

5.1. Genomförande av modellförsök

Två kraftstationsmodeller har använts vid drivgods-försöken, i fortsättningen kallade modell I och modell II. Modellerna byggdes ursprungligen för helt andra ändamål och för undersökningar enligt Froude modellregler. I modell I användes i försöken med drivgods två olika ytutskov, kallade ytutskov IA respektive IB, och i modell II användes ett ytutskov och ett bottenutskov kallade ytutskov II och bottenutskov II. Vid försöken med drivgods, som uteslutande bestått av småplantor av gran och tall, har vi gått bort från absoluta dimensioner och för ytutskoven infört de dimensionslösa parametrarna L/B och H/B .

Förhållandet L/B är trädets längd L till utskovets bredd B och H/B är utskovets överfallshöjd H till utskovets bredd B . I längden L ingår inte rotens utbredning, tanken är att det är trädets höjd över marken som skall räknas, se bild 4.

För bottenutskoven gäller parametrarna och där $L/\sqrt{A \cdot B}$ är trädets längd, A och B är bottenutskovets dimensioner, höjd respektive bredd, och $H/\sqrt{A \cdot B}$ är tryckhöjden räknat ner till utskovströskeln, se bild 5.



*Bild 3a, b och c. Drivgods uppträdande vid en grupp av öppna utskov.
Ett träd mitt framför pelaren fortsätter mot pelaren, vrids runt anläggningspunkten
och fastnar tvärs utskovet.*

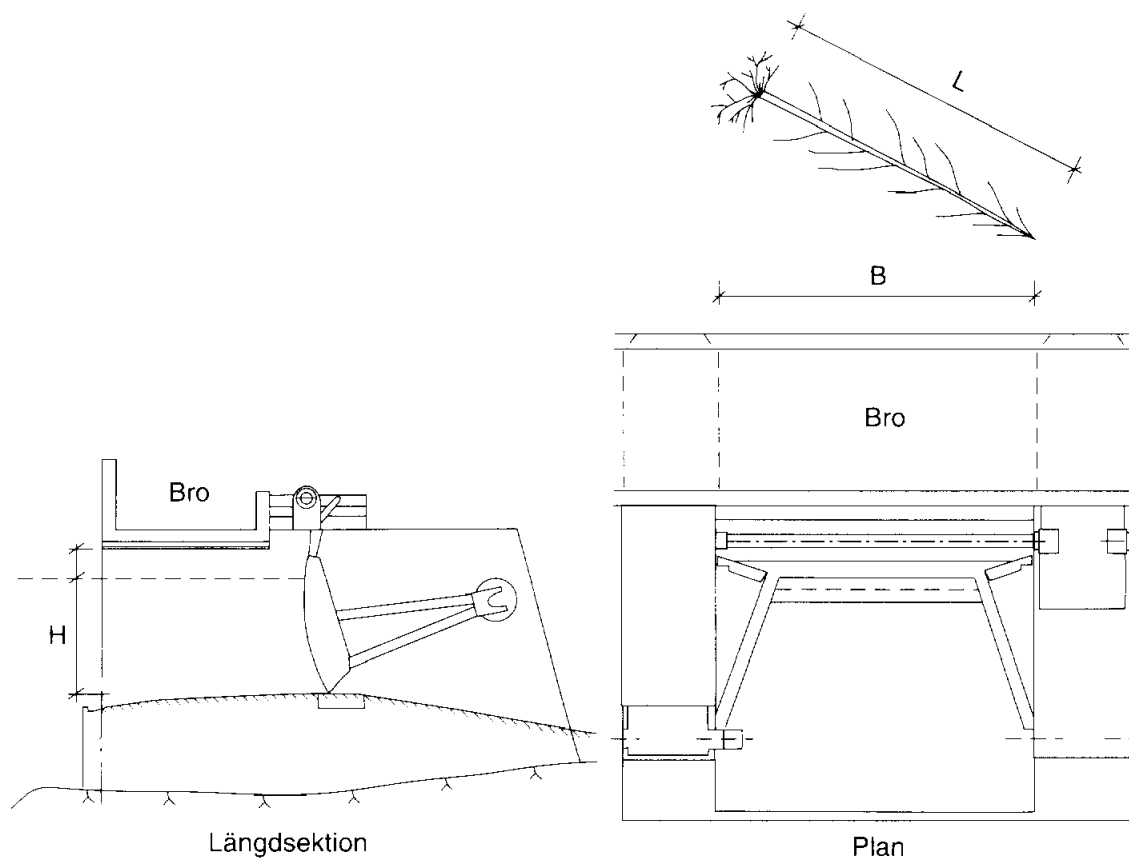


Bild 4. Ytutskovens mått L , B och H .

Försöken syftar till att bestämma sannolikheten för passage av ett träd med en viss längd L i förhållande till utskovens bredd B vid en viss utskovsdimension H/B . Försöken ger också sannolikheterna att ett träd fastnar definitivt eller fastnar så att det är oklart om det i verkligheten kommer loss igen. Det finns vissa skaleffekter som gör att fler träd fastnar i modellen än i verkligheten, vilket beskrivs närmare i kapitel 5.2.

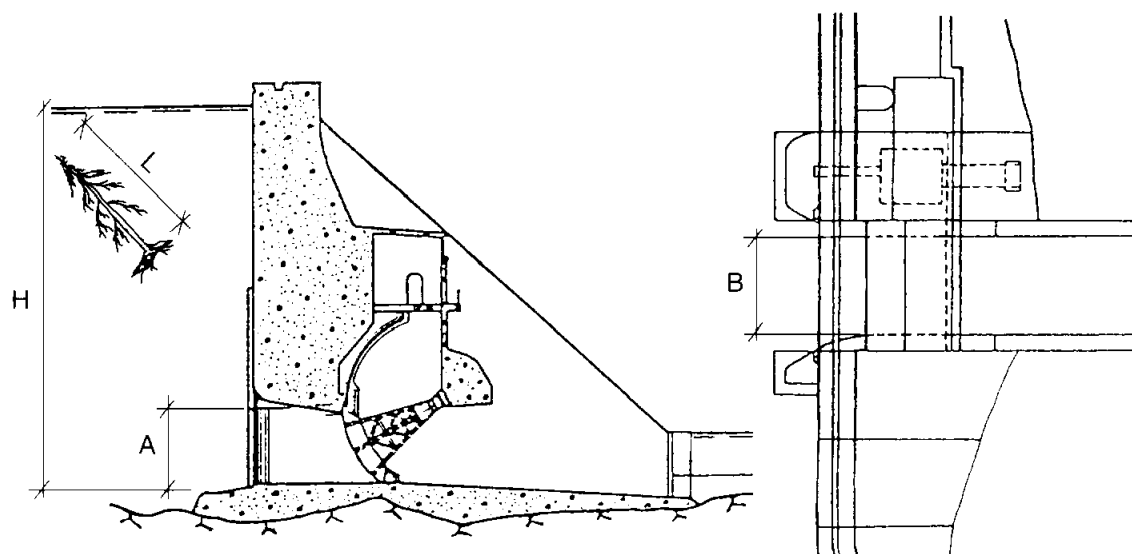


Bild 5. Bottenutskovets mått L , A , B och H .

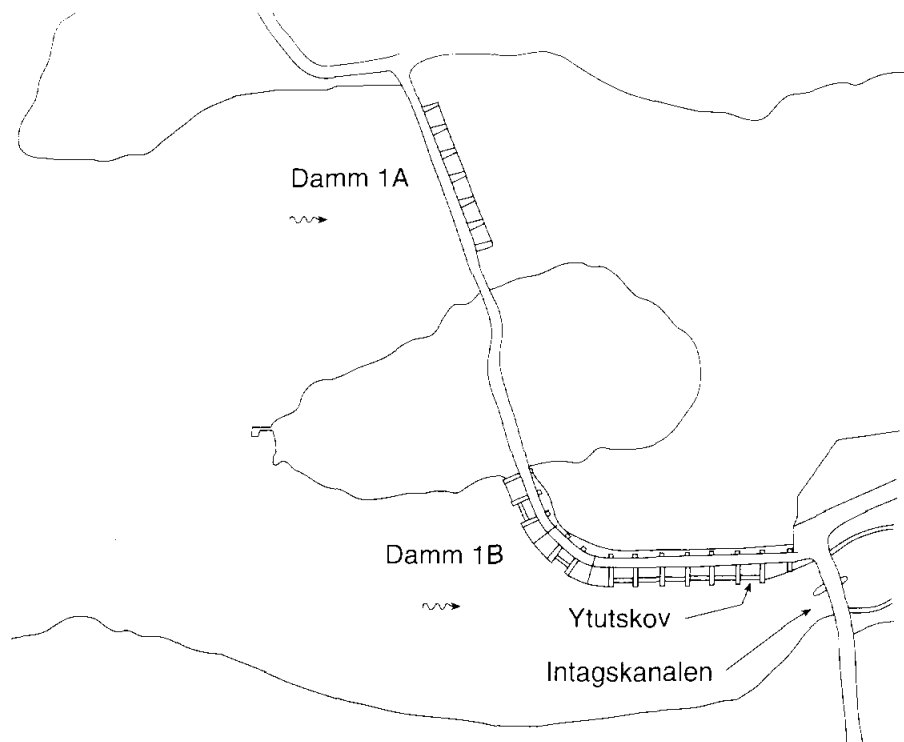


Bild 6. Modell 1.

Ytutskov IA och IB har bredden 25 cm i modellen. Ytutskov II har bredden 27 cm och har en djupare liggande tröskel som gör det möjligt att pröva ett större värde på H/B . Bottenutskov II har luckhöjden 9 cm och luckbredden 18 cm. Skillnaden mellan ytutskov IA och IB är att IA har rak tillströmning medan IB har sned tillströmning, se ritning över utskoven i bild 6.

Som framgår av bild 7 ligger en brobana strax uppströms luckorna i ytutskov IA. En del träd fastnade i brobanan med en gren eller rot och försök gjordes därför också med brobanan borttagen.

Under alla försök med ytutskov var luckans underkant så högt uppdragen att träden aldrig fastnade där. I verkligheten kan luckans underkant ligga så nära vattenytan att träden fastnar i luckan. Den lågt liggande brobanan i ytutskov IA ger en indikation om vad en lågt liggande lucka ger för problem. Samtidigt måste man skilja på utskov med låg överfallshöjd och hög överfallshöjd. I luckläget är vattendjupet normalt $2/3$ av överfallshöjden H , vilket innebär att vertikalt avstånd från vattenytan till luckans underkant är större vid större H .

5.2. Skaleffekter

Genom att gå bort från absoluta mått på utskov och träd mister modellskalan på ett sätt sin betydelse. Antalet träd som passerar ett utskov med t ex $L/B = 1,5$ och $H/B = 0,5$ är oberoende av om utskovets bredd B är 5 m eller 10 m så länge parametrarna L/B och H/B är lika.

Fragan är dock om man kan gå ner till utskovsbredd $B = 0,25$ m, utan att få skaleffekter. Svaret är att det finns skaleffekter t ex beträffande hållfastheten och att det är oklart hur starka de är.

Genom att se på ett enkelt och renodlat fall med en jämntjock stock tvärs två utskovspelare i ett ytutskov kan vi härleda formler för böjdragspänningen och utböjningen i stocken. Jämförelse kan sedan göras för en stock i modellskala och i full skala.

Kraften per längdmeter för en stock med diametern d som omströmmas av vatten med hastigheten v m/s kan skrivas

$$F = C_d \cdot l \cdot d \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \quad \text{N/m}$$

där

$$\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

C_d = formmotstånd

Formmotståndet C_d varierar med Reynolds tal $\frac{v \cdot d}{\nu}$ där vattnets viskositet $\nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

I en modell är Re i storleksordningen 20 000 vilket ger ett C_d på 1,0.

I full skala kan Re ligga runt $0,5 \cdot 10^6$ som är ett tröskelvärde för C_d som minskar från 1,2 till 0,4 vid ökande Re. Som en förenkling inför vi dock ett $C_d = 1,0$ i de fortsatta beräkningarna.

Den utbredda belastningen kan nu skrivas $q = 500 \cdot d \cdot v^2 \quad \text{N/m}$.

Maximalt böjmoment på mitten av stocken blir $M_{\max} = \frac{q \cdot B^2}{8} \quad \text{Nm}$.

För ett cirkulärt tvärsnitt är böjmotståndet $W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad \text{m}^3$

och den maximala böjdragspänningen på mitten av stocken blir $T = \frac{2\,000 \cdot v^2 \cdot B^2}{\pi \cdot d^2} \quad \text{N/m}^2$.

Detta ger att böjdragspänning i en modellstock är skalan λ gånger mindre än i en verklig stock. På ett verkligt träd bryts grenar, toppar, rötter etc lättare av än på ett modellträd. Detta betyder att när ett modellträd fastnar i modellen kanske det i verkligheten hade passerat efter att grenar och rötter som hållit trädet brutits sönder.

Samma förhållande gäller för ett träd som bromsas upp genom att t ex en gren fastnar i en utskovspelare. I modellen blir spänningen i grenen skalan λ gånger mindre än i verkligheten.

Man kan också visa att utböjningen är λ^2 gånger mindre i modellen än i verkligheten. För likformighet mellan modell och verklighet skulle utböjningen vara endast λ gånger mindre, i modellen är träden alltför styva under förutsättning av att elasticitetsmodulen är lika för träden i modell och verklighet. Det sista antagandet är dock osäkert.

Slutsatsen blir att de träd som i modellen fastnar i grenar och rötter kanske till en stor del kommer att passera i verkligheten. Träd som i modellen fastnar tvärs utskovspelarna ligger förmodligen kvar även i verkligheten om nu inte strömkrafterna eller annat drivgods förmår bryta av trädet på mitten eller att få det att följa med. Vid stora dimensioner på utskovets bredd och slanka träd är detta en möjlighet. I handboken BYGG anges böjhållfastheten vid brott för trä med hög fukthalt till 40–60 MPa. Vid institutet för träteknisk forskning, KTH, uppges att ett övre värde på rundvirke kan vara så högt som 100 MPa men ett troligare värde är 60–70 MPa. Rundvirke är starkare än sågat virke eftersom inga fibrer har skadats i sågning.

Om vi antar att trädet ligger i den kritiska sektionen där vattenståndet $y = 2/3 H$ m och vattenhastigheten $v = \sqrt{g \cdot y}$ m/s får vi att maximal böjdragspänning kan skrivas

$$T = \frac{4 \cdot 163 \cdot H \cdot B^2}{d^2} \text{ N/m}^2.$$

För ett utskov med bredden $B = 15$ m, överfallshöjd $H = 5$ m uppnås böjdragspänningen $T = 75$ MPa vid en tr addediameter $d = 0.25$ m på mitten. Detta träd bryts troligen sönder om förhållandena är enligt förutsättningarna dvs $C_d = 1.0$ och trädet ligger i området med kritisk strömning. Ligger trädet uppströms utskovströskeln där den kritiska sektionen finns är hastigheterna och krafterna på trädet mindre.

Med kritisk sektion menas den sektion där strömningen övergår från att vara underkritisk till överkritisk. Vid överkritisk strömning är vattenhastigheten större än våghastigheten för en störning vilket innebär att en liten vattenståndsförändring inte kan påverka strömningen uppströms.

5.3. Resultat från försök med ytutskov

Beroende på trädens uppförande i modellförsöken har tre kategorier definierats enligt:

- Kategori **A**: Träd som passerar
- Kategori **B**: Träd med tveksamt stopp
- Kategori **C**: Träd med definitivt stopp

Resultaten redovisas som en sannolikhet för att ett träd skall hamna i respektive kategori.

Inom kategori **A** hamnar alla följande fall:

- Träd som i modellen passerar utan problem
- Träd som passerar efter att först stannat upp
- Träd som passerar efter att först fastnat men som slogs loss av nästa träd
- Träd som passerat men fastnat strax nedströms

Inom kategori **B** hamnar alla fall där trädet fastnar i modellen men i verkligheten på grund av skaleffekten kanske passerar. Detta gäller för följande fall:

- Träd som i modellen fastnar med en gren eller rot i brobanan
- Träd som fastnar med en gren eller rot i pelarnosen
- Träd som fastnar med en gren eller rot i både brobanan och pelarnosen

Hur stor andel av fallen i kategori B som i verkligheten skulle passera utskoven är inte möjligt att säga.

Inom kategori C hamnar alla fall där trädet lade sig tvärs utskovspelarna på ett sådant sätt att det låg stabilt fast. I verkligheten kan i vissa fall även här en del träd passera om strömkrafterna förmår bryta av trädet eller deformera det. Detta gäller speciellt när utskovets bredd är stort i förhållande till trädets diameter.

I försöksprotokollen finns registrerat fördelningen inte bara på de tre kategorierna utan även på de uppräknade fallen.

I samtliga försök med solitära ytutskov har passage både med enstaka träd och träd som sitter ihop två och två i varandras krona prövats. Det visar sig att sannolikheten för att ett träd skall fastna definitivt (kategori C) ökar dramatiskt när två träd sitter ihop. Med solitärt ytutskov menas ett ensamt utskov med en tillströmning som inte störs av intilliggande utskov, intag eller liknande.

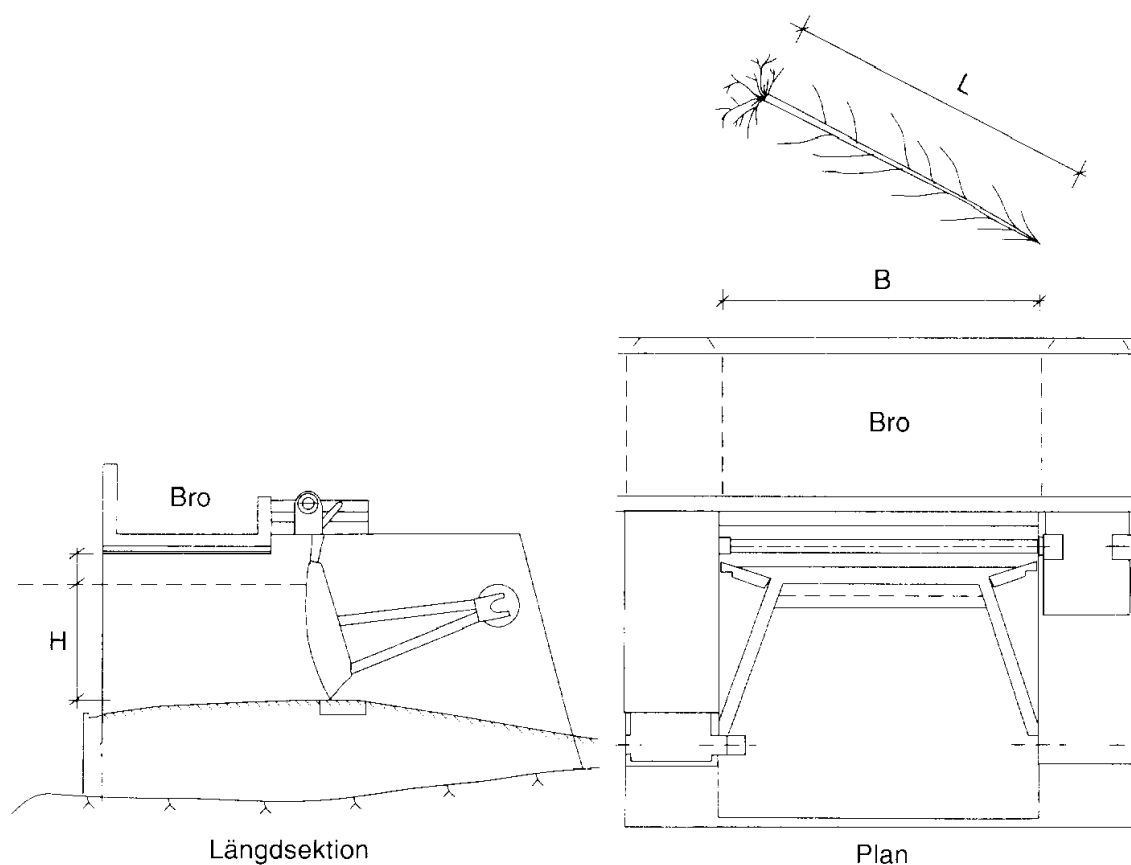


Bild 7. Ytutskov IA.

För varje försök användes 50 träd eller 50 par träd när det gällde träd som satt ihop. Träden slängdes slumpmässigt ut en och en några meter framför utskovet. Om ett träd fastnade fick ytterligare ett träd försöka passera utskovet. Om då båda träden passerade hamnade två träd i kategori A. Om det första trädet fortfarande satt kvar hamnade det i kategori B eller om det låg tvärs utskovspelarna i kategori C. Utskovet rensades sedan från träd och försöket fortsatte.

I försöken med en grupp av sex öppna utskov intill varandra provades endast enstaka träd. Sannolikheten för att ett träd skall fastna tvärs utskovspelarna (kategori C) är nu högre än vid solitära ytutskov och två träd som sitter ihop. Det är helt enkelt den förändrade strömbilden som förstör möjligheten att flotta ut träd genom utskoven.

5.3.1 Försök med solitära ytutskov

Resultaten från försöken i ytutskov IA visas i tabell 1.

Tabell 1. Försöksresultat för ytutskov IA, en lucka öppen

Kategori A. Sannolikhet för passage, %

Kategori B. Sannolikhet för tveksamt stopp, %

Kategori C. Sannolikhet för definitivt stopp, %

L/B Kategori	Enstaka träd						Två träd ihop					
	1,0			1,5			1,0			1,5		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
H/B = 0,3	100	0	0	92	6	2	94	4	2	70	4	26
H/B = 0,4	94	6 ²⁾	0	92	6	2	86	8	6	64	20 ³⁾	16
H/B = 0,4 ¹⁾	96	4	0	78	2	20						

1) Utan brobana

2) Fastnade i brobanan

3) Hälften av de 20% (10%) fastnade i brobanan

Tillströmningen till ytutskov IA är rak. Vattnet är grunt, botten ligger på 2–3 cm under utskovets tröskel. Även nedströms utskoven är botten flack med en svag lutning nedströms åt, dock ej så svag att man får motdämning. Endast ett utskov var öppet under försöken.

Ytutskovet IA karaktäriseras av en brobana som ligger uppströms utskovsluckan samt en tvärt avskuren uppströms pelarnos, se bild 7.

Brobanans underkant ligger i modellen på 11,3 cm över utskovets tröskel.

Med ytutskov IA och H/B = 0,4 är en stor andel av träden i kategori B träd som fastnade i brobanan. H/B = 0,4 motsvarar 10 cm uppströms vattenstånd över tröskeln vilket skall jämföras med det totala avståndet på 11,3 cm mellan tröskeln och brobanans underkant. Vid kompletterande försök med brobanan borttagen sjönk andelen fall i kategori B, se tabell 1.

Brobanans underkant ligger i försöket H/B = 0,4 på ett vertikalt avstånd av 1,3 cm från vattenytan vid stängd lucka. Motsvarande värde vid försöket H/B = 0,3 är 3,8 cm. Av dessa uppgifter kan parametern $\Delta H/L$ bildas där ΔH är det vertikala avståndet från vattenytan vid stängd lucka till brobanans underkant (eller luckans underkant vid helt uppdragen luckan) och L är trädets höjd.

I tabell 2 visas sannolikheten för att ett träd fastnar i brobanan vid olika värden på $\Delta H/L$.

Tabell 2. Sannolikheten i % för att ett träd fastnar i brobanan.

$\frac{\Delta H}{L}$	ENSTAKA TRÄD	TVÅ TRÄD IHOP
0.035	6	10
0.052	6	4
0,10	0	4
0.15	0	0

Sannolikheten för att ett träd skall fastna i brobanan eller i luckans underkant bör också vara beroende av H. Vid ett och samma $\Delta H/L$ minskar sannolikheter vid ökande H på grund av att vattenytan sjunker undan djupare när H blir större. Vattendjupet i den kritiska sektionen i utskovet är $2/3$ av H vilket ger att neddragningen av vattenytan är $1/3$ H.

Resultaten från försöken i ytutskov IB visas i tabell 3.

Tabell 3. Försöksresultat från ytutskov IB, en lucka öppen.

Kategori A. Sannolikhet för passage, %

Kategori B. Sannolikhet för tveksamt stopp, %

Kategori C. Sannolikhet för definitivt stopp, %

L/B	Enstaka träd						Två träd ihop					
	1,0			1,5			1,0			1,5		
Kategori	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
H/B = 0,4	100	0	0	98	0	2	100	0	0	82	0	18
H/B = 0,52	98	2	0	96	0	4	100	0	0	76	0	24

Tillströmningen till ytutskov IB är sned. Vattnet är djupare än vid IA och nedströms luckan är det bättre fall på skibordet, se bild 8.

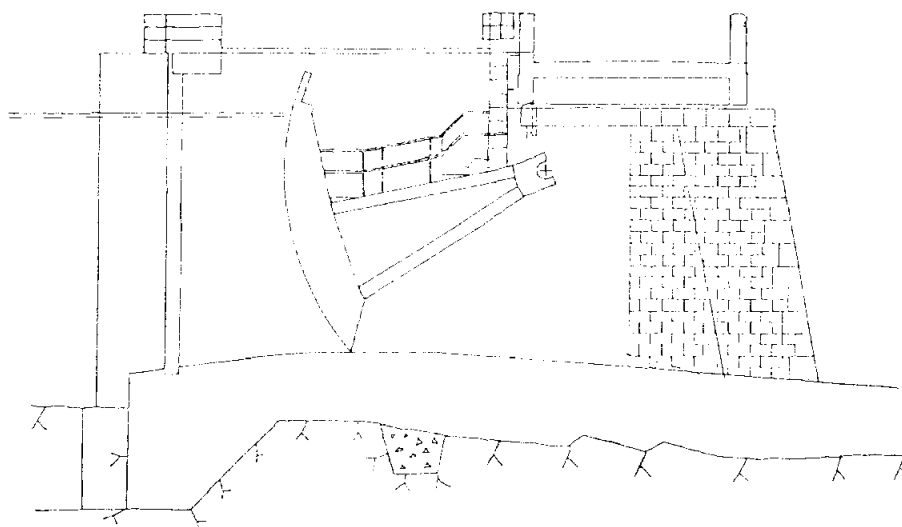


Bild 8. Ytutskov IB.

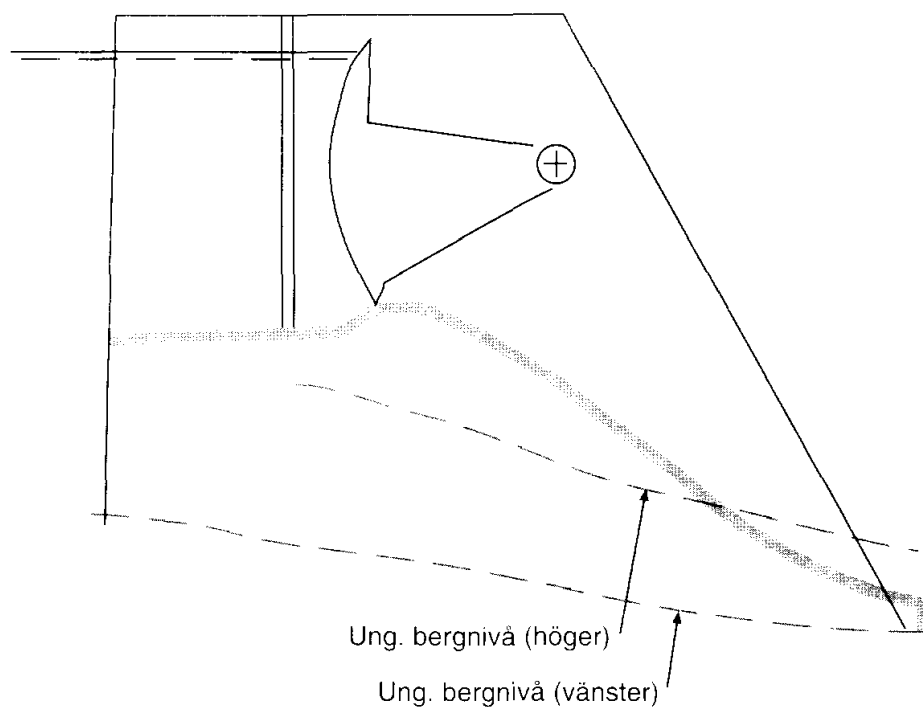


Bild 9. Ytutskov II.

Brobanan hindrar inte passagen av träd då den ligger betryggande långt nedströms luckan.

Det intressanta med ytutskov IB var om den sneda tillströmningen betydde något för passagen av drivgods. En jämförelse med IA visar att den inte har någon betydelse. Avsaknad av hindrande brobana, djupare vatten uppströms och bättre fall på skibordet verkar vara faktorer som gör utskov IB effektivare att flotta ut drivgods.

Resultaten från försöken i ytutskov II visas i tabell 4.

Tabell 4. Försöksresultat från ytutskov II, en lucka öppen.

Kategori A. Sannolikhet för passage, %

Kategori B. Sannolikhet för tveksamt stopp, %

Kategori C. Sannolikhet för definitivt stopp, %

L/B	Enstaka träd									Två träd ihop					
	1,0			1,5			2,0			1,5			2,0		
Kategori	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
H/B = 0,4	90	6	4	92 ¹⁾	6	2	-	-	-	88	0	12	53 ²⁾	7	40
H/B = 0,8	94	0	6	92 ³⁾	0	8	80	4	16	86	0	14	70 ³⁾	0	30

1) 18% fastnade nedströms utskovet fastkilade mot brobanan, se vidare texten nedan.

2) 6% fastnade nedströms utskovet fastkilade mot brobanan.

3) 4% fastnade nedströms utskovet fastkilade mot brobanan.

Tillströmningen till ytutskov II är tämligen rak med uppströms botten 3–5 cm lägre än tröskeln. Nedströms luckan är det ordentligt fall på skibordet men på höger sida finns i modellen en skarp övergång från skibordet till ursprungligt berg.

På detta ställe fastnade ett stort antal träd som kilades fast mellan brobanan och den skarpa övergången till berget. För försöket $H/B = 0,4$ och $L/B = 2,0$ rör det sig om 9 träd eller 18% av totala antalet träd. För försöket $H/B = 0,8$ är det 4% av totala antalet träd, djupare vatten i utskovet gör att träden inte tar i botten så lätt. Nu är dessa träd förda till kategori A i och med att de passerade utskovet men det är ett gränsfall då delar av trädet ligger kvar uppströms brobanan och hindrar andra träd att passera.

I bild 9 visas utformningen av ytutskov II.

I ytutskov II provades $H/B = 0,4$ och $0,8$, det sistnämnda värdet innebär ett uppströms vattendjup H över tröskeln på 21.6 cm.

Nu visar det sig att parametern H/B har liten inverkan på passagen av drivgods. Det verkar vara drivgodsets längd L i förhållande utskovets bredd B som har störst betydelse. Detaljer som avrundade pelarnosar, tröskelns anslutning till uppströms terräng och skibordets anslutning till nedströms terräng är också viktiga. Det skall finnas så få tvära ytor mot strömriktningen som möjligt för grenar och rötter att haka fast i. Mjukt avrundade, strömlinjeformade ytor ger maximal passage av drivgods.

Försöken visar att det finns individuella skillnader i sättet för träden att fastna. Vill man bestämma sannolikheten för träd att passera utskov med avvikande utformning eller andra typer av utskov rekommenderas fysiska modellförsök.

En sammanslagning av samtliga försöksresultat från ytutskov IA, IB och II utan hänsyn till parametern H/B visas i tabell 5.

Tabell 5. Försöksresultat från samtliga modeller, en lucka öppen.

Kategori A. Sannolikhet för passage, %

Kategori B. Sannolikhet för tveksamt stopp, %

Kategori C. Sannolikhet för definitivt stopp, %

L/B	Enstaka träd											
	1,0			1,5			2,0			2,5		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
H/B = 0,3–0,8	98	2	0	94	3	3	92	3	5	80	4	16
L/B	Två träd ihop											
	1,0			1,5			2,0					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
H/B = 0,3–0,8	95	3	2	78	4	19	62	4	35			

I ovanstående tabell 5 finns sannolikheterna med för både med och utan brobana i ytutskov IA.

5.3.2. Försök med sex intilliggande ytutskov

Dessa försök gjordes ca 3 månader efter försöken med solitära ytutskov och med samma modellträd. För $L/B = 1.5$ användes sammanlagd 150 träd för att vara säker på att den låga sannolikheten för passage inte berodde på en slump. Dessutom repeterades försöken med ett solitärt ytutskov vilket gav samma resultat som tidigare. Att träden torkat i 3 månader förändrade inte dess egenskaper i detta avseende. Försöken utfördes i ytutskoven IA.

Resultaten från försöken redovisas i tabell 6.

Tabell 6. Försöksresultat för ytutskov IA, sex luckor öppna. Brobanan borttagen.

L/B	Enstaka träd					
	1,0			1,5		
	A	B	C	A	B	C
H/B = 0,4	86	6	8	55	10	35

Att träd som är lika långa som utskovets bredd kan fastna tvärs utskovet beror på att rot delen inte räknas in i trädets längd.

5.3.3. Försök med drivgods och vågor

I damm IA (brobanan borttagen) gjordes försök med alla sex utskoven öppna samtidigt med vågor. Misstankar fanns att kraftiga vågor skulle ändra förhållandena för drivgodset att passera utskoven.

Försöken utfördes med träd med $L/B = 1.5$ och ett vattenstånd i modellen motsvarande $H/B = 0.4$, en situation som körts tidigare. Endast enstaka träd användes. Vågorna alstrades genom att en tunna rördes upp och ner i uppströmsänden av modellen. Våghöjden på fritt vatten bedömdes till ca 2–3 cm i modellen, vilket ger att våghöjden var ca 25% av överfallshöjden H . Vid de öppna utskoven var våghöjden betydligt mycket mindre, de öppna utskoven fungerade som vågdämpare.

Effekten på drivgodset uteblev också, en något större sannolikhet för passage kunde noteras jämfört med värdet i tabell 6. En upprepning av försöket i tabell 6 med samma modellträd som vid vågförsöket gav dock en något högre sannolikhet för passage utan vågor. Slutsatsen är att resultatet är mer beroende av valet av modellträd än om det går vågor i modellen. Vågor bedöms inte påverka sannolikheten för passage av drivgods. Vågorna dämpas effektivt ut av de öppna utskoven vilket kan förklara saken.

5.3.4. Försök utförda vid NHL

Som en jämförelse visas resultaten från NHL, Trondheim, i tabell 7. Resultaten avser en fast överfallströskel och med $H/B = 0,21$ vilket är det högsta prövade värdet. Tre olika avstånd mellan pelare på överfallströskeln har provats.

Tabell 7. Försöksresultat från NHL, fast överfallströskel.
 Kategori A. Sannolikhet för passage, %
 Kategori B. Sannolikhet för tveksamt stopp, %
 Kategori C. Sannolikhet för definitivt stopp, %

L/B	Enstaka träd								
	1,04			1,29			1,38		
Kategori	A	B	C	A	B	C	A	B	C
H/B = 0,21	89	10	1	79	11	10	71	7	12

Försöksresultaten från NHL har inte presenterats i ovanstående form utan räknats om till denna form av resultatredovisning. Tabell 7 visar på en större sannolikhet för träden att fastna enligt både kategori B och C om man jämför med solitära ytutskov. Försöken vid NHL liknar dock mera försöken med flera intilliggande utskov öppna och resultaten från NHL bekräftar våra resultat även om sannolikheterna skiljer sig något. Detta skall hellre ses som ett utslag av olika utskovs individuella skillnad i förmåga att flotta ut drivgods. Genom de modellförsök som genomförts börjar vi ana att utskovens förmåga att flotta ut träd måste bestämmas individuellt och att vår indelning i trädlängd (L) till utskovsbredd (B) endast ger en grov bild av flottningsförmågan.

5.4. Resultat från försök med bottenutskov

Försöken utfördes i modell II. Bottenutskov II har bredden $B = 18$ cm och höjden $A = 9$ cm, se bild 5. Försöken med bottenutskovet skiljer sig något från försöken med ytutskovet. Den dimensionslösa parametern $L/\sqrt{A \cdot B}$ som valts jämför trädets längd L med det geometriska medelvärdet $\sqrt{A \cdot B}$ av utskovets höjd A och bredd B. För ett kvadratisk tvärsnitt är $\sqrt{A \cdot B}$ lika med ett vanligt medelvärde som då är lika med A.

Två olika värden på parametern $L/\sqrt{A \cdot B}$ prövades vid $H/\sqrt{A \cdot B} = 2,0$ vilket motsvarar vattendjupet 25,5 cm över tröskeln. På det sätt som försöken utfördes hade parametern $H/\sqrt{A \cdot B}$ liten betydelse. I modellen kom flytande drivgods fram till den vertikala dammfronten där det kunde ligga och flyta tills det sögs ner mot bottenutskovet. Här är det snarast frågan om drivgodsets flytkraft om det dras ner eller inte. Vid försöken med $H/\sqrt{A \cdot B} = 2,0$ tyngdes träden ner med ståltråd för att få träden ner mot bottenutskovet. Trädens flytkraft var på gränsen vad bottenutskovet klarade att suga ner. Tyngden av ståltråden var inte större än att trädet flöt men med rotändan djupare ner i vattnet. Att pröva andra värden på $H/\sqrt{A \cdot B}$ är att spekulera i hur träden flyter i verkligheten. Modellförsöket gick ut på att se på sannolikheten för att ett träd som dragits ner mot bottenutskovet skall passera.

Det ingick inte i modellförsöket att bestämma om ett träd klarade att hålla sig flytande och inte dras ned.

När ett träd närmar sig bottenutskovet rätar det upp sig i strömriktningen på samma sätt som i ytutskoven. Skillnaden är att rörelsen är i tre dimensioner mot två dimensioner för ett ytutskov där trädet ligger och flyter på vattenytan hela tiden.

Försöken genomfördes enbart med enstaka träd, inga försök gjordes med två träd ihop som vid försöken med ytutskoven. Skälet till detta var att även om två träd flöt ihop drogs de isär i modellen när strömkrafterna tog tag i ett av träden. Ibland drev träden ner mot den vertikala dammfronten och flöt där flera tillsammans tills strömkrafterna fick tag i ett eller flera av träden. Någon negativ effekt av att de flöt tillsammans märktes inte under försöken.

Vid varje försök användes 50 träd.

Resultaten från försöken visas i tabell 8.

Tabell 8. Försöksresultat från bottenutskov II.

Kategori A. Sannolikhet för passage, %

Kategori B. Sannolikhet för tveksamt stopp, %

Kategori C. Sannolikhet för definitivt stopp, %

L/B Kategori	1,5			2,0		
	A	B	C	A	B	C
$H/\sqrt{A \cdot B} = 2,0$	100	0	0	96	0	4

Vid två tillfällen med $H/\sqrt{A \cdot B} = 2,0$ fastnade träden på ett sådant sätt att vi bedömde det som omöjligt att det skulle komma loss. Det var träd som var tyngda i rotändan med ståltråd och som fastnade med roten i botten uppströms utskovet och resten av trädet stående vertikalt vilande mot den vertikala dammfronten. Om detta var en modelleffekt på grund av nedtyngd rotände kan diskuteras.

5.5. Reduktion av avbördningskapacitet vid bröt

I ytutskov II uppmättes reduktionen av avbördningskapaciteten vid konstant vattenstånd med en bröt framför utskovet. Samma försök gav också svar på frågan om höjningen av vattenståndet vid konstant vattenföring. Nu är inte försöken helt utan skaleffekter och man bör också räkna med en viss variation i resultaten beroende på hur träden fastnar i utskovet. Skaleffekterna gör att man i modellen underskattar vattenföringsminskningen och vattenståndshöjningen. I verkligheten kan man tänka sig att grenar och rötter bryts sönder och bröten packas tätare mot utskovet vilket har den effekten att vattenföringen genom utskovet minskar mer än i modellen. Dessutom finns det i verkligheten alltid smågrenar, skräp, gräs etc som följer med strömmen och tätar bröten ytterligare.

Försöken började med att ett träd dubbelt så långt som utskovets bredd ($H/B = 2$) fastnade tvärs utskovspelarna. Träd med olika längd, se bild 10, slängdes sedan i vattnet uppströms och fastnade i ett slumpmässigt mönster framför utskovet. I ett fall lossnade en stor del av bröten och passerade utskovet.

Sammanlagt 40 träd användes för att bygga upp bröten. Inverkan av ytterligare träd bedömdes som liten då de fastnar långt från utskovet där hastigheten är låg. I bild 11 visas ett foto av en bröt.



Bild 10. Modellträd.



Bild 11. Bröt i modell II.

Sammanlagt tre olika försök genomfördes med olika H/B. För bestämning av vattenståndshöjning mättes skillnad i vattenstånd vid stationära förhållanden med och utan bröt.

Minskning av flöde bestämdes genom att minska flödet in i modellen efter det att stationärtillståndet uppnåts med bröt i utskovet. Efter det nya stationärtillståndet uppmätts avlästes vattenståndet och plottades tillsammans med de andra värdena in på ett Q-H diagram där vattenståndsminskningen bestämdes grafiskt. I tabell 9 visas resultaten för försöken.

Tabell 9. Bröt i utskovet. Minskning av flödet respektive höjning av vattenståndet.

		H/B		
		0,31	0,53	0,71
Minskning	l/s	1,75 l/s	1,87 l/s	1,81 l/s
av flöde	%	12,4%	6,6%	4,3%
Höjning av	cm	0,88 cm	0,68 cm	0,56 cm
vattenstånd	% av H	10,5%	4,8%	2,9%

Som väntat har en bröt störst inverkan vid ett lågt värde på H/B. Ett intressant resultat är att minskningen i flödet i absoluta tal är ungefär lika stort för alla värden på H/B. När det gäller vattenståndsstegring i absoluta tal är det en klar tendens till högre värden vid lägre H/B.

5.6. Diskussion om modellförsök

Drivgodsets passage genom ett utskov är ett strömningstekniskt problem. Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby grundades 1943 med det huvudsakliga argumentet att det behövdes ett hydrauliskt laboratorium för att lösa problem i samband med timmerflottningen och de störningar i flottningen som Vattenfalls utbyggnad i älvarna förorsakade.

Från Kanada och USA har vi exempel på hur man använder fysiska modeller för att utforma vattenvägarna med avseende på drivgods.

Försöken i Kanada gällde utformningen av utskoven i la Joie Dam och försöken visade att en bröt av drivgods kunde bildas nedströms utskovströskeln i en sprängd kanal genom berg. Denna bröt kunde reducera utskovskapaciteten och därigenom påverka dammsäkerheten. Lösningen tycks bli en rad med pelare med sluttande uppströmsfront som placeras framför utskovet. Pelarna ger stöd åt en drivgodsbom och den sluttande fronten gör att drivgodset pressas uppåt när bakomvarande drivgods trycker på. Med vertikal front pressas drivgodset ner mot botten och minskar utskovens avbördningsförmåga. Denna lösning är specifik för la Joie Dam men idén bör gå att använda vid andra dammar.

Försöken i USA gällde utformningen av intagen till fyra överföringstunnlar i Harlan, Kentucky. Drivgodset var specificerat med ledning av vad som fanns uppströms och kunde väntas komma. Ett standardiserat försöksprogram hade utarbetats. En bestämd mängd och sammansättning av drivgods tillfördes älven vid bestämda tidpunkter under det simulerade höglödesförloppet.

Genom att prova olika utformningar av pelarnosar och tunnelintag kunde man för den standardiserade drivgodsbelastningen förändra intagsförhållandena från fullständig block-

ering av samtliga tunnelintag till fullständig frihet från ansamling av drivgods på pelargonerna. En video om försöken för överföringstunneln i Harlan, Kentucky, finns vid Vattenfall Vattenkraft.

De modellförsök med drivgods som utförts vid Vattenfall Utvecklings laboratorium i Älvkarleby visar också på individuella skillnader på drivgodsets uppträdande dels vid olika utskovsutformningar dels vid olika flödessituationer. Det finns ett antal olika möjligheter för drivgods att fastna på i utskoven. Några drivgodsfällor är lätta att undvika som t.ex. fyrkantiga pelarnosar. Andra fällor kan vara svårare att upptäcka och det behövs modellförsök för att dels upptäcka dem dels åtgärda dem.

Strömningstekniska beräkningar är inte aktuella då enbart geometribeskrivningen av ett träd kan vara nog så komplicerat. Att sedan beräkna detta träds rörelser i vattnet, hur det påverkas av strömkrafter och andra krafter när grenar och rötter stöter emot hinder i vattenvägen och deformeras är idag inte möjligt.

De för denna rapport utförda försöken visar generellt hur sannolikheten för passage av drivgods påverkas av drivgodsets längd i förhållande till utskovets bredd (L/B), olika överfallshöjder till utskovets bredd (H/B) etc. Några försök med att ändra utskovens design för att öka sannolikheten för passage av drivgods har inte gjorts fränsett det att bron togs bort i ytutskov 1A. Det vi sett att man gjort i Kanada och USA och det vi själva gjort under flottningsepokens modellförsök, gör det mycket troligt att man genom modellförsök kan förbättra utformningen på våra utskov så att dess förmåga att avbörda drivgods ökar.

Problemens art är sådana att en generell lösning giltig för alla utskov inte kan anges. En riskklassificering ur drivgods-/igensättningssynpunkt av våra dammar bör göras där man bl.a. fastställer typ och mängd av drivgods som kan bli aktuellt, vilket behandlas vidare i kapitel 7 "Utvecklingsbehov".



Bild 12. Foto av utrustning för sprängning.



Bild 13. Sprängklämman fäst på stocken i vattnet.

6. FÖRSLAG TILL HANDLINGSPLAN

6.1. Beslutsunderlag för åtgärder

Innan åtgärder beslutas och genomförs måste ett beslutsunderlag tas fram. I detta avsnitt räknas ett antal idéer upp som berör framtagandet av detta beslutsunderlag. Uppräkningen har inga anspråk på att vara fullständig.

Man bör se på drivgodshanteringen som en helhet för en älv eller delar av en älv om en lämplig uppdelning kan göras. En lämplig uppdelning kan t ex vara vid stora magasin där drivgodstransporten beror mer på vind än på ström.

Nästa prioritering kan vara att i första hand se på klass I-dammar enligt Flödeskommitténs terminologi. Det är kort uttryckt de dammar som skulle medföra oacceptabla konsekvenser vid ett tänkt dammbrott. I andra hand ser man på klass II-dammar som på sitt sätt också är viktiga. En tänkbar konsekvens av ett drivgodsinducerat dammbrott i en klass II-damm är en våldsam produktion av drivgods vilken skulle kunna tänkas omkullkasta förutsättningarna för en framgångsrik drivgodshantering i en nedströms liggande klass I-damm. Ett motsvarande skäl till helhetssyn är att man inte bör välja att flotta ut drivgods från en damm om det allvarligt kan hota en nedströms liggande damm.

I undersökningen bör ingå en hydrologisk analys av tidsförloppet vid ett extremflöde. Det är skillnad mellan ett stort magasin typ Storuman och ett litet magasin. För det stora magasinet är höjningen av vattenståndet långsamt vid igensättning av utskoven, man har tid att vidtaga åtgärder. För ett litet magasin kan tidsfaktorn vara avgörande för utgången, en jämförelse kan göras med Noppikoskiraset även om det inte förorsakades av drivgods.

Även läget av dammen i avrinningsområdet har betydelse. För de längst nedströms liggande dammarna i en stor älv tar det åtskilliga dagar innan flödet når sin kulmen under en extremflödessituation. Bedömer man att drivgodset kan komma från skred eller stormfälld skog vid det oväderstillfälle som skapade extremflödet föreligger en tidsskillnad mellan drivgodsets uppträdande och flödestoppen. Denna tidsskillnad är mycket värdefull och kan användas till förberedelser. Bedömer man att drivgodset kan komma från erosion av stränderna inträffar kanske drivgodsproduktionen samtidigt med kulmen på extremflödet eller först senare.

Dammens läge har också betydelse för möjligheterna att ta sig fram till platsen under extrema förhållanden. Alternativa vägar är en fördel om åtgärder planeras under tiden för extremflödet. Man bör här vara uppmärksam på om tillfartsvägen korsas av bäckar lagda i vägtrummor. Med stor sannolikhet kommer vägen att vara avskuren vid denna vägtrumma. I kombination med eventuellt drivgods har inte alltid vägtrumorna kapacitet att ta undan vattnet. Resultatet blir att bäckens vatten rinner över vägbanan och med tiden skär av vägbanken.

För dammar med säkra tillfarter och där man vet att man har en viss förberedelsetid, kan samarbete med skogsindustrin ge en möjlighet att med tung utrustning för trädhantering rensa utskoven från eventuella brötar. Rensning av träd i utskov kan också göras med sprängkapning, en metod som används vid röjning av stormfällda eller snötyngda träd över kraftledningarna.

6.2. Strategier för drivgodshantering

Tre olika strategier kan ses för drivgodshantering. De är att förhindra farlig drivgodsproduktion, uppsamling av drivgods innan det når utskoven samt utformning av utskov för maximal flottningsförmåga.

Från modellförsöken vet vi att träd som är kortare än 1,5–2 gånger ytutskovens bredd under vissa förutsättningar till största delen passerar utskoven om de kommer ensamma. Om träden brötar sig, om än bara två och två, minskar chansen betydligt för att de skall kunna passera. Hur bedömningen skall göras för drivgodsets uppträdande som enstaka träd eller som brötar är oklart, kanske bestäms brötbildningen av antalet träd per tidsenhet som passerar en sektion av älven.

Om gränsen för klassificering av drivgods som farligt sätts till trädhöjd större än t ex 1,5 gånger ytutskovens bredd kan produktion av farligt drivgods förhindras genom skötselplaner av uppströms älvstränder. Skötselplanerna omfattar då områden längs älvsträckan som kan beröras av erosion, skred och när det gäller stormfällning området inom en halv trädhöjd från strandlinjen vid extremvattenföring. Inom detta område tar man ner träd med en höjd större än 1,5 gånger ytutskovens bredd. Observera att det inte är lämpligt med totalavverkning då träd och buskars rötter håller ihop marken och förhindrar erosion och skred till en viss del. Skötselplanen kan också innehålla åtgärder mot erosion genom utläggning av erosionsskydd. Ett exempel på en fungerande skötselplan är den som drivs av Övre Klarälvdalens strandskyddsförening som bildades för att hålla den meandrande Klarälven på plats.

Man inser här skillnaden mellan utskoven i en damm som ligger i högfjällsterräng och en damm som ligger i skogsterräng. För dammen i fjällterräng finns kanske endast lågväxta fjällbjörkar i nederbördsområdet medan dammen i skogsterräng har träd med 25–30 m höjd nära magasinets stränder.

Uppsamling av drivgods innan det når utskoven kan göras med länsar. Om det är en bra strategi kan diskuteras. Upprensning längs stränderna av strandat drivgods är en annan kanske enklare åtgärd men förmodligen ligger där en ganska liten mängd drivgods.

Problemet med länsar är flera. Använder man permanenta länsar får man med tiden höga underhållskostnader för en situation som kanske aldrig inträffar i vår mansålder. Den andra varianten är länsar som läggs ut vid behov. Dammens läge i avrinningsområdet kan vara avgörande om man får den förvarningstid som behövs för att lägga ut länsarna.

Problem med underhåll och beredskap för länsar som till synes aldrig behövs är en sak. En annan och kanske viktigare aspekt är om man får haveri på en läns när den behövs som bäst. I det fallet släpper man loss en bröt som har liten chans att passera utskoven. Om träden kommer en och en kanske anläggningen klarar sig bättre.

Fördelarna med länsar som fungerar är dock stora. Under hela flottningsepoken användes länsar som var förutsättningen för att styra och samla stockarna som man ville. Ett och annat haveri inträffade väl men oftast fungerade de.

Om länsar skall användas rekommenderas en strömbildsberäkning i området dels för bedömning av lämplig placering, dels för beräkning av strömkrafter på bröt och läns. Om en fysisk modell av området av någon anledning finns tillgänglig är utprovning av länsens exakta läge och funktion i modellen en självklarhet.

Man bör dessutom pröva länsarna i full skala med drivgods i form av träd med grenar och rötter. Detta bör göras vid en älvsträcka där man har de hastigheter som är aktuella. Stora värden står på spel och man kan inte riskera att länsarna inte fungerar när de behövs.

Det är i samband med nybyggnation eller om/tillbyggnad för ökad utskovskapacitet som man har möjligheten att utforma utskoven för minsta möjliga påverkan av drivgods. Från modellförsöken vet vi att tillräcklig bredd är den viktigaste faktorn, sedan kommer fribord upp till brobanans underkant och djup över tröskeln. Väl avrundade pelarnosar ger också en ökad flottningsförmåga. Dessutom är det mycket viktigt att inte intilliggande utskov stör tillströmningen till utskovet.

Ett stort djup över tröskeln ger också en mindre påverkan på utskovskapaciteten vid en igensättning av utskovet.

Det bästa valet av strategi kan vara en blandning av ovanstående strategier. Skötselplaner som motverkar erosion samt håller efter den högvuxna skogen kan mycket väl kombineras med länsar som styr drivgodset till ett nybyggt utskov med stor flottningskapacitet som byggts för att uppfylla Flödeskommitténs riktlinjer på dimensionerande flöde.

6.3. Sprängkapning

Det finns idag en utvecklad metod att kapa träd som lagt sig över ledningar under t.ex. en snöstorm. Men en lång stång fäster man en pentylstubin (sprängämne i plastslang) runt trädet med en sprängklämma. Sprängladdningen utlöses med en Nonel-stubin. Foto av utrustningen visas i bild 12 och 13.

Denna metod har prövats på en stock Ø 0,25 m liggande i vatten. Stockens längd var ca 3 m. Stocken sprängdes i två bitar som kastades ca 20 m åt var sida.

Att kapa trädet var inget problem. Det som kan vara problem är att fästa sprängämnet – stocken måste vara stilla och ligga i vattenytan. Om stocken ligger under vattenytan blir strömkrafterna för stora på stången där sprängklämman är fäst. Om inte stocken inte ligger still blir det också svårigheter.

Kringflygande träddelar vid explosionen kan vara ett problem. Röjningspersonalen måste ha skydd för kringflygande splinter eller kunna komma utanför riskområdet som är 50 m vid explosionen. Dessutom får det inte finnas känslig utrustning, t ex för utskovens manövrering, som kan skadas av kringflygande splinter. Om denna metod skall utnyttjas vid röjning i utskov bör den först ha prövats under realistiska förhållanden.

Den vid försöket använda laddningen var alltför kraftig på grund av att sprängningen vid denna tillämpning delvis sker i vatten.

7. UTVECKLINGSBEHOV

Modellförsöken har gett oss sannolikheten för att ett träd eller två träd som sitter ihop skall passera problemfritt eller fastna definitivt i ett utskov av en viss design. Det finns också en sannolikhet att ett träd fastnar i modellen men i verkligheten, på grund av skaleffekten, lossnar och passerar utskovet. Svaret på frågan hur stor del som i verkligheten lossnar kan bara fås genom fältförsök.

Hur stor drivgodspanning man kan få på en viss sträcka är också oklar. B.C. Hydro har gjort ett förslag till beräkningsgång som kanske kan nyttjas till vissa delar. Hur träden sedan uppträder är också oklart. B.C. Hydro nämner att träden tenderar att bröta ihop sig. Det man kan tänka sig är att andelen ensamma träd av totala antalet träd som anländer till ett utskov kan bero på antalet träd som anländer per tidsenhet och älvens dimensioner. Om träden kommer tätt inpå varandra och om älven är smal är sannolikheten större att de kommer i kontakt med varandra och bildar brötar. Detsamma gäller om flytsträckan är lång, träden har då längre tid på sig att komma i kontakt med varandra.

Förmågan att bilda brötar kan undersökas i ett fältförsök men kan också prövas i en fysisk modell som tyvärr måste bli ganska stor. Frågan om brötbildning är högtintressant då flottningsförmågan sjunker dramatiskt om träden anländer två eller fler tillsammans.

Sjunktimmer finns det förmodligen gott om och risken är troligtvis stor att de börjar röra på sig vid ett extremflöde. Så länge utskovsbredden är större än 1,5–2,0 gånger stocklängden borde de inte ställa till problem om utskovet inte påverkas av närliggande utskov. Om så är fallet måste utskovsbredden vara minst stockarnas längd. Bedömningen är att de inte uppträder i brötar då de är raka och kvistade och således har svårt att haka i varandra. Hur stor mängd sjunktimmer som kan komma under ett extremflöde är svårt att uppskatta. En undervattensbesiktning av magasinsbotten kan ge en viss uppfattning av mängden liksom erfarenheter från studier vid höga flöden.

Samma sak gäller flyttorv. Beroende på årstid och vattentemperatur kan flyttorven enligt kapitel 4.3 vara infrusen i is men fritt flytande, flytande i ytan på sommaren och sjunkande på hösten och vintern. Lossbruten flyttorv följer naturligtvis lättare med strömmen under en extremflödessituation men på stränder och botten fastsittande torv påverkas troligen marginellt av ett högt flöde. En bedömning av mängden torv på botten av ett magasin kan man kanske få genom ekolodning med dels lågfrekvent ekolod som tränger igenom torven till fast botten och dels högfrekvent ekolod som reflekterar vid gränsytan vatten-torv. Skillnaden i djup mellan de två ekoloden ger torvens tjocklek.

Metoden har prövats på fiberbankar vid massafabriker med gott resultat. Om torven sitter fast i botten eller ligger fritt rörlig på botten är däremot omöjligt att säga. Även med georadar kan man få en bra bild av torvlagrets utsträckning. Vi vet också att mindre flyttorvar bryts sönder i utskoven. Frågan är om samma sak händer om ett mycket stort område med flyttorv sätter sig i ett utskov.

För att kunna klassificera älvräckor och utskov i riskklasser behövs en inventering och bearbetning av olika slags information längs våra älvar.

Ett förslag är att utnyttja GIS (Geografiskt Informations System) som ett hjälpmedel i detta arbete.

Drivgodset kan tänkas komma från erosion av stränder, skred ner i vattnet och vindfällan samt från översvämmade områden där det finns föremål som kan följa med strömmen.

Man behöver alltså information om erosionskänsliga områden längs älven, skredfarliga områden och, med tanke på vindfällan, de träd som står närmare stranden än t ex 50% av trädets höjd. Man behöver också information om höjdfördelningen (vid det höga flödet) på de träd som står i de ovan angivna områdena, något som man kanske kan få från flygfoton över området.

Vattenstånd och vattenhastigheter för bedömning av erosion kan fås från matematiska modeller av de älvar som är dammbrottsberäknade.

Med ett GIS-system bör man kunna klassificera en älvsträcka och bedöma den aktuella dammens utskov med avseende på drivgods. Kommer man fram till att utskoven riskerar att sättas igen och att dammsäkerheten därigenom äventyras måste åtgärder vidtagas, antingen längs älvsträckan eller vid utskoven.

Under modellförsöken har luckans underkant legat tillräckligt högt för att ej störa de passerande träden. En undersökning av hur högt luckan normalt kan dras vid våra dammar och om detta är tillräckligt för fri passage av drivgods bör göras.

I Norge planeras fortsatt arbete med drivgods med bl a fältförsök. Kontakt bör hållas med NHL i Trondheim för att få delta i dessa försök. Vi bör också samordna få delta i dessa försök. Vi bör också samordna våra aktiviteter så att dubbelarbete undviks och att slutsatser och rekommendationer om möjligt blir enhetliga.

8. DIMENSIONER PÅ UTSKOV I SVERIGE

En sammanställning av luckstorlek, konstruktionsprinciper etc finns för de Vattenfallsanläggningar som byggts efter mitten av 1940-talet. Det var Vattenfalls dåvarande avdelning för mekanisk utrustning inom vattenkraft, BKM, som 1989 gjorde sammanställningen i "Avstängningsanordningar i vattenvägar".

Vid 49 anläggningar med ytutskov med segmentluckor har 96% en luckbredd på 10 m eller mer, 58% en luckbredd på 14 m eller mer. De största luckorna för en Vattenfallsanläggning finns enligt sammanställningen i Stornorrfors där luckorna är 21 m breda och 9,6 m djupa ner till tröskeln.

Vid försöken med drivgods används parametern H/B för att beskriva luckan, se kapitel 5. De värden som provats är $H/B = 0,3, 0,4, 0,52$ och $0,8$.

För de 22 anläggningar som har luckor med bredden 14–16 m är medelvärdet på $H/B = 0,59$. För totala antalet anläggningar är medelvärdet på $H/B = 0,64$.

För Umeälven nedströms Storuman har uppgifter på utskoven samlats in från dammregistret. Enligt dammregistret har flertalet anläggningar en luckbredd på 20 m och i medeltal ett $H/B = 0,375$. För några anläggningar på samma älvsträcka är luckbredden som lägst 12 m.

För Klarälven har Gullspång Kraft AB lämnat uppgifter om utskoven. Flertalet kraftstationer har segmentluckor eller sektorluckor med 12–14 m bredd, men det finns anläggningar med både bredare och smalare luckor och anläggningar med en kombination av luckor och fasta överfallströsklar. Minsta luckorna har Munkfors med 4 m bredd men man har samtidigt en 240 m lång fast överfallströskel.

Vattenfalls sammanställning visar att bottenutskoven har i medeltal värdet $H/\sqrt{A} \cdot B = 4,47$ beräknat på 15 anläggningar. I bottenutskov II provades i modellförsöken $H/\sqrt{A} \cdot B = 2,0$. När det gäller formen på bottenutskov II är förhållandet luckhöjd A till luckbredd B lika med 0,5. För de 15 anläggningar som ingår i Vattenfalls sammanställning varierar detta förhållande från 0,45 till 2,1. Luckans form kan alltså variera från att vara dubbelt så bred som hög till att vara dubbelt så hög som bred.

Denna begränsade översikt visar att i de större älvarna är utskovens bredd tämligen stor. I små vattendrag är dimensionerna mindre och i gamla anläggningar finns också utskov med spetluckor med maximalt 1 m bredd. Spetluckor förekommer dock normalt inte vid klass I-dammar.

9. SLUTSATSER

Rapporten kan endast ge en grov bild av de samband som styr utskovens förmåga att flotta ut drivgods i form av hela träd med rötter och grenar. De försök som utförts visar på stora individuella skillnader. Utformning av pelarnosar, brobanans placering, terrängen i utskovets närhet, strömbilden nära utskovet etc. är faktorer som alla påverkar förmågan att flott ut drivgods. Även drivgodsets uppträdande är av stor betydelse. Om träden kommer ett och ett fram till ett solitärt ytutskov är sannolikheten för passage stor för träd med längd under 1,5 à 2,0 gånger utskovets bredd. Om träden kommer två och två eller fler tillsammans eller om flera utskov ligger nära varandra minskar sannolikheten för passage dramatiskt. Vi måste alltså vara beredda på att utskov kan sättas igen om de träd som kommer är längre än utskovets bredd.

Modellförsök har inte genomförts med brötar av träd där längden på träden är mindre än utskovets bredd. Ett sådant prov skulle mest visa modellträdens hållfasthet och deformationsegenskaper. Det kan nämnas att vid ett av försöken med utskovs avbördningsförmåga med bröt lossnade en relativt stor bröt och passerade genom utskovet efter att ha legat stabil en längre tid. Detta visar att det är möjligt att flotta brötar genom utskov men det är nödvändigt med fältförsök för att få information om de verkliga trädens uppträdande jämfört med modellträdens. I rapporten antas att modellträden är för styva och starka, i verkligheten antas träden böja sig och gå sönder i större utsträckning och därmed lättare passera ett utskov.

Metoder för rensning av utskov bör också prövas i fältförsök, främst timmerbilars lastkranar, skogsmaskiner samt metoder att sprängkapa träd. I samband med fältförsök med hela träd bör man också göra mer noggranna beräkningar av strömkraften på ett träd. En målsättning bör vara att beräkna vilka träd som bryts sönder om de hamnar tvärs utskovspelarna. En jämförelse mellan beräkning och fältförsök är värdefull som verifiering. För att rensning av utskov skall vara ett trovärdigt alternativ behövs förutom de rent mekaniska möjligheterna att lyfta och spränga även ständig övervakning under perioder med extremt höga flöden, eventuellt med TV-kamera, och snabb insats när ett träd fastnat. Om en bröt tillåts växa framför ett utskov blir situationen troligen snabbt ohanterlig.

I samband med om- och tillbyggnad av utskov bör man tänka på att utskovsbredd är viktigare än överfallshöjd. Med större bredd i förhållande till trädens längd ökar sannolikheten att trädet passerar utan problem och om trädet fastnar tvärs utskovspelarna är sannolikheten större att trädet bryts av. Den maximala böjdragspänningen är proportionell mot överfallshöjden men proportionell mot kvadraten på utskovets bredd. Om möjligt skall också utskovet placeras så att det inte störs av intilliggande utskov.

Vid ombyggnad av gamla småkraftverks spetluckeutskov bör man undersöka om inte luckornas gåtar kan göras fällbara i strömriktningen. På detta vis kan man få stor bredd på utskovsöppningen.

Dimensionerna på de träd man kan förvänta sig komma varierar med läget i Sverige. För övre Norrland är normalt inte träden högre än 24–27 m i rationellt brukad skog. För Gästrikland, Dalarna och norra Värmland är motsvarande trädhöjd ca 26–29 m och i södra Sverige ca 28–31 m. Med uppmätta stamformar ger det en diameter på ca 25–30 cm på mitten av ett fullvuxet träd. De beräkningar som gjorts i rapporten indikerar att de största utskoven

pa 20 m bredd bör vara säkra för igensättning, åtminstone i övre Norrland där träden inte blir så långa.

Vid utformning av nya utskov är modellförsök en möjlig väg att undersöka tillströmningen och drivgodsets uppträddande. Matematiska modeller för beräkning av strömbilder till utskov är idag en etablerad teknik men om den skall användas bör den kompletteras med beräkningar av trädens rörelser i vattnet vilket kan visa sig vara mycket komplicerat.

Drivgodsproduktionen i en älv är nog trots allt den största osäkerheten. Drivgodsets uppträddande som enskilda träd eller som brötar antas ha samband med produktionen. Möjligheterna att rensa utskoven är definitivt beroende på antalet träd som kommer per tidsenhet. Om man inte hinner få undan ett träd som fastnat, det gäller oavsett hur det fastnat, är sannolikheten stor att även nästa träd fastnar. Detta märktes mycket tydligt i modellförsöken. Observera dock att de angivna sannolikheterna i rapporten gäller helt rena utskov. Det är rimligt att tro att svårigheten att lossa ett enskilt träd ökar med brötens storlek. Med en växande bröt blir situationen snabbt ohanterlig. Det är alltså viktigt att få ett begrepp om drivgodsproduktionens storlek i en älv.

Fortsatt forskning och utveckling inom drivgodsområdet är viktigt, dels om metoder för att beräkna möjlig drivgodsproduktion längs en älvsträcka och hur man kan minimera den, dels om åtgärder mot drivgodss när det väl har kommit ner till dammen. Här gäller förutom egna insatser också att samarbeta med och följa vad som görs i andra länder, speciellt Kanada och Norge som hittills visat störst intresse för området.

10. REFERENSER

- [1] SOU 1987:64: *Dammsäkerhet och skydd mot översvämningar.*
- [2] NVE Publikation nr V 18: *Flomavledning ved dammen. Erfaringer fra oktoberflommen 1987.*
- [3] Projekt damsikkerhet. Rapport nr 4: *Tilstopping av flomløp.*
- [4] Ashton (Editor) WRP: *River and Lake Ice Engineering.*
- [5] Canadian Dam Safety Association: *Safety Requirements and Guidelines for Existing Dams.* (Draft Aug. 1993)
- [6] P.T. Brown and N.M. Nielsen. Canadian Dam Safety Conference, Sept. 1992: *Dams + Debris = Danger!*
- [7] Rood, N.M. Nielsen, B. Hughes. Water Power '93: *Estimating Quantities of Organic Debris Entering Reservoirs in British Columbia, Canada.*
- [8] Nielsen, B.C. Hydro: *Reservoir Debris Management.*
- [9] Göran Lindström, Joakim Harlin, Judith Olofsson, SMHI. Utkast 930908: *Uppföljning av flödeskommitténs riktlinjer.*
- [10] VASO dammkommitté, rapport nr 4: *Skred i nipor.*
- [11] Trucco. Mitteilung nr 53 ETH: *Sanierungsarbeiten der Staumauer Palagnedra nach dem hoch Wasser 1978.*
- [12] Pousette. Lic.avhandling, Upplands nation 1965: *Lukka och Porttipakta dämmningsmagasin. Väntade följder av en planerad överdämning av torvmark.*

ANTECKNINGAR

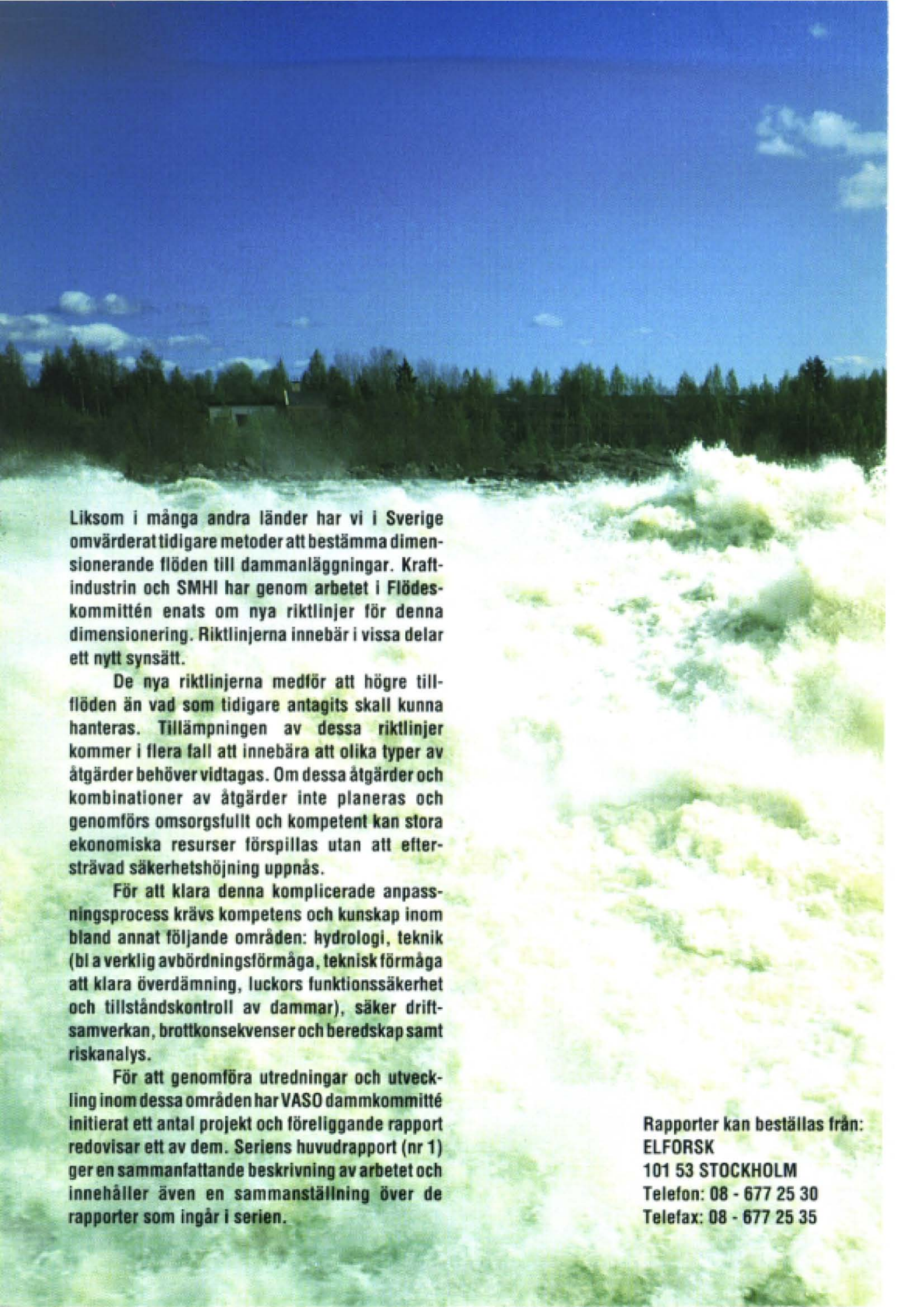
.

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

.

ANTECKNINGAR



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

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

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

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

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