

ELFORSK



DAMMSÄKERHET

DRIVGODS VID EXTREMA TILLFÄLLEN
Nulägesbeskrivning

Rapport 11:32

Drivgoods vid extrema tillfällen

Nulägesbeskrivning

Elforsk rapport 11:32

Förord

För extrema tillfällen med höga flöden, där t.ex. statistiskt underlag för förväntade drivgodsmängder saknas, är hanteringen av drivgods vid dammar en utmaning.

Ett säkert avbördningssystem ska enligt RIDAS beakta drivgods men RIDAS ger ingen ledning till *hur* laster ska beräknas eller *hur* man tar hänsyn till drivgods vid utformning av utskov.

Rapporten redovisar exempel på inträffade händelser, riktlinjer gällande drivgods samt metoder för att beräkna drivgodsproduktion, minska drivgodsproduktionen, stoppa drivgods i vattenvägen innan utskoven och minska risken för igensättning av utskoven.

I Sverige finns idag inget gemensamt förhållningssätt till hantering av drivgods vid dammar vid extrema tillfällen. Det finns olika exempel på överväganden och genomförda åtgärder som beaktar drivgods, men etablerade verktyg saknas för att bedöma sårbarhet och konsekvenser av drivgods för en älvsträcka. Rapporten föreslår fortsatt arbete med verktyg och metoder för att bedöma vilka åtgärder som är relevanta för att minska riskerna med drivgods vid extrema tillfällen.

Rapporten är ett delresultat inom Elforsks ramprogram "Dammsäkerhetstekniskt utvecklingsarbete" som syftar till att långsiktigt stödja kraftindustrin dammsäkerhetspolicy.

Ramprogrammet har en styrgrupp bestående av: Jonas Birkedahl – Fotum, Claes-Olof Brandesten – Vattenfall Vattenkraft, Lars Hammar – Vattenfall Vattenkraft, Anders Isander – E.ON, Martin Johansson – Skellefteå Kraft, Anders Sjödin – Statkraft, Gunnar Sjödin – Vattenregleringsföretagen, Rolf Steiner – Fortum samt Cristian Andersson – Elforsk. Adjungerade till gruppen är också Maria Bartsch och Anna Engström-Meyer – Svenska Kraftnät.

Stockholm juli 2011



Cristian Andersson

Sammanfattning

I denna rapport görs en nulägesbeskrivning avseende drivgodsproblematik vid höga flöden i Sverige. Beskrivningen baseras främst på rapporter som tagits fram av Dam Safety Interest Group (DSIG) i projektet "Debris management in spillways and waterways during floods" och dess förarbeten [5,9,12,13,14]. Det mesta som gjorts internationellt när det gäller hantering av drivgods rör den dagliga driften och är inte inriktat på extrema tillfällen.

Rapporten redovisar riktlinjer gällande drivgods samt metoder för att beräkna drivgodsproduktion, minska drivgodsproduktionen, stoppa drivgods i vattenvägen innan utskoven och minska risken för igensättning av utskoven.

Drivgods kan bestå av träd, buskar, flyttorv, sjunktimmer och mänskliga konstruktioner såsom bryggor, båthus, båtar och liknande som kommer flytande med strömmen. Den dominerande orsaken till drivgodsproduktion bedöms vara häftiga regn som kan utlösa skred i branta slänter, höga flöden som kan medföra erosion av stränder och starka vindar i samband med oväder som kan stormfälla skog ner i älven.

Ett säkert avbördningssystem ska enligt RIDAS ha tillräcklig kapacitet med hänsyn till drivgods eller en effektiv flytgodsbarriär konstruerad för förekommande laster. RIDAS ger dock ingen ledning till *hur* "förekommande laster" ska beräknas eller *hur* man tar hänsyn till drivgods vid utformning av utskoven.

I Sverige finns idag inget gemensamt förhållningssätt till hantering av drivgods vid dammar vid extrema tillfällen. Det finns olika exempel på överväganden och genomförda åtgärder som beaktar drivgods, till exempel rensning kring magasin, användande av länsar, brobانهöjning, utökad utskovsbredd samt att man skaffar sig en viss överkapacitet i avbördningsförmågan.

De åtgärder som bedöms vara möjliga att använda i Sverige för att hantera drivgods vid extrema tillfällen och som föreslås utvärderas vidare är skötselplaner, förstärkning av skredkänsliga slänter, utnyttjande av tvärströmmar för uppsamling av drivgods i vattenvägen, drivgodsfällor i biflöden, visir framför utskov, breddning av utskov, överkapacitet för att kompensera för partiell igensättning samt eroderbara dammdelar ("fuse plugs").

Länsar bedöms inte vara ett tillräckligt robust alternativ vid extrema tillfällen, rensning av drivgods framför utskov med bedöms inte heller som en möjlig metod.

Verktyg för att bedöma sårbarhet och konsekvenser avseende drivgods för en anläggning saknas. Ett möjligt verktyg för detta skulle kunna vara ett frågeschema som utifrån gällande förutsättningar vid varje damm ger en "sårbarhetsklass" för drivgods. För att bedöma vilka åtgärder som är relevanta att gå vidare med vid respektive anläggning måste även förutsättningarna att hantera drivgods vid övriga anläggningar längs älvsträckan beaktas. Drivgods bör ses som en älvgemensam fråga som måste hanteras samordnat av berörda dammägare.

Summary

This report provides a status report for management of the debris problem at extreme floods in Sweden. The description is mainly based on the reports prepared by the Dam Safety Interest Group (DSIG) in the project "Debris Management in spill ways and waterways during floods" and its legislative history [5,9,12,13,14]. Most of what is done internationally on the management of debris is related to the daily operation and is not focused on extreme situations.

The report goes through the guidelines regarding debris and methods for calculating the debris production, reducing the debris production, stop debris in the waterway before the spillway and reduce the risk of clogging of the spillway.

Floating debris may consist of trees, shrubs, turf float and man-made constructions such as docks, boat houses and boats that will go with the flow. The main sources of debris production is expected to be heavy rains that could trigger landslides on steep slopes, high flows that can cause erosion of the shoreline and strong winds associated with storms that produces windfall trees.

RIDAS states that a secure spillway system should have sufficient discharge capacity with regard to debris or an effective debris barrier designed for anticipated loads. RIDAS, however, gives no guidance as to *how* loads should be calculated or *how* to take account of debris in the design of spillways.

In Sweden there is currently no common approach to managing debris at extreme events. There are various examples of considerations and implemented measures that take into account the debris problem, such as removing potential debris around the reservoir, using log booms, raising bridges, extended spillway width and acquiring some surplus capacity.

The measures considered suitable to be used to manage the debris at extreme events in Sweden and suggested further evaluation are reservoir management plans, strengthening of landslide susceptible slopes, usage of cross-currents for the collection of debris in the waterway, debris traps in tributaries, visors upstream spillways, widening the spillway, excess capacity to compensate for partial clogging and fuse plugs.

Log booms are not considered to be a robust enough option to handle extreme conditions neither is cleanup of the debris in front of the spillway.

Tools for assessing vulnerability and consequences of debris for a specific dam do not exist today. A possible tool for this could be a query scheme that based on current conditions at each dam provides a "vulnerability class" for debris.

To determine which measures are relevant to examine at each plant the possibilities to handle debris at other dams downstream must also be considered. Debris should be seen as an issue that must be coordinated commonly by all dam owners in a river.

Innehåll

1	Bakgrund	1
1.1	Inledning	1
1.2	Syfte och metod	2
1.3	Exempel på inträffade händelser	2
2	Riktlinjer gällande drivgods	6
2.1	Sverige, RIDAS	6
2.2	Norge	7
2.3	Kanada	7
2.4	Schweiz	8
3	Drivgodsproduktion – Hur mycket och vilken typ av drivgods kan förväntas?	9
3.1	Källor och orsaker	9
3.2	Metoder för beräkning av drivgodsmängd.....	10
4	Metoder för att minska drivgodsproduktionen	12
5	Metoder för att stoppa drivgods i vattenvägen innan utskoven	13
5.1	Länsar	13
5.2	Naturliga formationer, tvärströmmar	15
5.3	Drivgodsfällor	16
6	Metoder för att minska risken för igensättning av utskoven	18
6.1	Sannolikheten för ett träd att fastna i ett utskov	18
6.2	Kvarvarande utskovskapacitet	19
6.3	Kvarvarande utskovskapacitet med visir	19
6.4	Borttagande av drivgods vid utskoven	21
6.5	Metoder för att göra dammen mindre känslig för drivgods/öka kapaciteten att passera förbi drivgods	21
7	Slutsatser och rekommendationer	23
8	Referenser	25

Bilagor

- Bilaga 1** Sammanställning av riktlinjer i RIDAS gällande drivgods
- Bilaga 2** Resultat av modellförsök med drivgods

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Drivgods definieras i denna rapport som flytande och icke flytande objekt som transporteras i vattnet på ett okontrollerat sätt. Exempel på drivgods är träd, buskar, sjunktimmer och mänskliga konstruktioner såsom bryggor, båthus, båtar och liknande. Drivgods i form av is eller sediment ingår inte i denna rapport.

Flytande drivgods har identifierats som ett hot mot dammsäkerheten, i Sverige främst vid extrema tillfällen med mycket höga flöden. Jämfört med en del andra länder har Sverige små problem i den dagliga driften. Det mesta som gjorts internationellt när det gäller hantering av drivgods rör dock den dagliga driften.

Det som kan hända vid ett extremtillfälle med mycket drivgods och mycket högt flöde är att drivgodset sätter igen utskovet och reducerar avbördningskapaciteten så mycket att dammen överströmmas vilket kan leda till dammbrott.

Drivgods kan även orsaka skador på dammens uppströmssida genom slag vid vågpåverkan. Drivgods som ackumuleras i vattenvägar kan leda till lokalt ökade vattenhastigheter och flodvågor då uppdämt vatten bryter igenom och de tillfälliga hindren transporteras vidare i vattnet.

På 90-talet föranledde inträffade händelser i Norge studier kring drivgods och dammsäkerhet. I samband med detta gjordes även en del arbete i Sverige. Tidigare arbeten har även gjorts i andra europeiska länder och i Kanada. Efter att behovet att öka förståelsen för drivgodsproblematiken identifierats formades ett internationellt projekt inom Dam Safety Interest Group (DSIG). Projektet leddes av kanadensiska CEATI. En förstudie som sammanfattade kunskapsläget publicerades 2005 [9]. 2006 startade DSIG-projektet "Debris management in spillways and waterways during floods" som inkluderade fyra delprojekt [5,12,13,14]. Projektet slutrapporterades i november 2010.

Drivgods är ett älvgemensamt problem som måste hanteras samordnat av berörda dammägare. I Sverige finns idag inget gemensamt förhållningssätt till hantering av drivgods vid extrema tillfällen. Det finns olika exempel på överväganden och genomförda åtgärder som beaktar drivgods, till exempel användande av länsar, brobanehöjningar, utökad utskovsbredd samt att man skaffar sig en viss överkapacitet. Det förekommer också regelbundna rensningar kring magasin liksom frivilliga överenskommelser med lantbrukare om placeringar av ensilagebalar.

1.2 Syfte och metod

Syftet med studien har varit att sammanställa en nulägesbeskrivning avseende hantering av drivgodsproblematik vid extrema tillfällen. Rapporten utgår från befintlig dokumentation och beskriver kunskapsläget och metoder för att:

- Beräkna drivgodsproduktion
- Minska drivgodsproduktion
- Stoppa drivgods i vattenvägen innan utskoven
- Minska risken för igensättning av utskoven

Rapporten lämnar även rekommendationer om vidare utvecklingsarbete inom området.

Rapporten går igenom tidigare arbeten, främst de rapporter som är resultatet av DSIG's projekt "Debris management in spillways and waterways during floods" och som resulterat i följande delrapporter:

1. "Debris yield reduction by management" med "Appendicies"
2. "Failure modes for debris booms"
3. "Dynamic loads on debris booms"
4. "Floating debris and dam safety: hydraulic model tests"

Övrigt underlag har varit en förstudie till DSIG-projektet, några aktuella svenska studier samt diverse utländska arbeten.

Delar i RIDAS huvuddokument och tillämpningsvägledning som berör drivgods refereras och även norska, kanadensiska och schweiziska riktlinjer för hantering av drivgods redovisas kort.

1.3 Exempel på inträffade händelser

Här redovisas kortfattat ett antal inträffade händelser där stora mängder drivgods uppkommit på grund av extrem nederbörd och höga flöden och som i vissa fall lett till problem vid dammar. I flera av fallen redovisas åtgärder som utförts för att bättre kunna hantera drivgods.

1.3.1 Regnkatastrofen på Fulufjället, 1997, Sverige [8]

Fulufjällets nationalpark ligger i Älvdalens kommun i nordvästra Dalarna, intill gränsen mot Trysil kommun i Norge. Den 30-31 augusti 1997 drabbades de östra delarna av Fulufjället av ett våldsamt åskregn. Vid Rösjöarna uppmättes rekordnederbörden 276 mm på ett dygn med en enkel privat mätutrustning. Lite längre söderut längs östra sidan av fjället föll uppskattningsvis 300-400 mm. I Fulan uppmättes ett maximalt timvärde på 317 m³/s mot att ett dygn tidigare ha legat på ca 10 m³/s vilket är under medelvattenföringen vid den årstiden (17 m³/s).

Detta ledde till en snabb erosion som drog med sig sand, grus och stenar och underminerade trädens rotsystem. Granar med 20-30 m längd föll eller knäcktes när trädbrotar kom flytande. Många träd fastnade i ett tidigt skede

av översvämningen och begravdes sedan mer eller mindre under grus och stenar. Mängden skog som nu ligger i dessa brötar har uppskattats till 10 000 m³ motsvarande lika många fullväxta träd. Denna uppskattning torde avse främst Göljåarna och de andra vattendragen på östsidan.

1.3.2 Storofsen, 1789, Norge [17]

I slutet av juli 1789 drabbades Glomma och Gulbrandsdalen av en flödeskatastrof orsakad av stora regnväder. Broar, kvarnar och gårdar intill vattendrag drogs med av vattnet och oräkneliga jordskred inträffade i dalgångarna. Sjön Mjösa täcktes helt av träd, hus och annat drivgods och vattnet blev inte klart igen förrän ett år senare. Minst 70 personer omkom.

1.3.3 Oktoberflommen, 1987, Sörlandet Norge [9]

Ett höglöde med 30-100 års återkomst förorsakade stora problem för dammägare i regionen. Kraftiga regn utlöste en produktion av drivgods och ett högt flöde. På många ställen försvårade drivgodset öppning av luckor, till exempel kilades en delvis öppen segmentlucka fast mot brobanan av träd och kunde inte öppnas ytterligare. Drivgodset hade nått dammen innan flödestoppen och när sedan höglödet kom hade man inte tillgång till den maximala avbördningskapaciteten. På enstaka ställen satte utskov igen av drivgods. Många broar och vägar förstördes och det var mycket svårt att nå dammarna med personal och utrustning.

1.3.4 Vinkelfallet, 1992, Norge [9]

Med ledning av resultat av drivgodsprojektet som utfördes i Norge 1990-91, byggdes utskovet i Vinkelfallet om så att brobanan ovanpå utskovströskeln togs bort. Strax därefter inträffade ett höglöde med relativt stor drivgodsproduktion. Antalet större träd uppskattades till 0,5-2 st/minut. Man bedömer att utskovet hade fått en betydande igensättning om inte brobanan tagits bort. Nu klarade man sig utan igensättning.

1.3.5 Överströmningen av Palagnedra-dammen, 1978, Schweiz [4]

Palagnedradammen ligger i Melezza-floden i södra Schweiz, med ett avrinningsområde på ca 140 km². Dammen är en 120 m lång och 72 m hög betongdamm. Utskovet var en överfallströskel, med en brobana ovanpå som vilade på pirar som bildade 13 öppningar. Avbördningskapaciteten var 450 m³/s. 1978 inträffade ett extremt höglöde som förde med sig ca 25 000 m³ träd och ca 1,8 x 10⁶ m³ sand och grus in i magasinet. Drivgodset satte delvis igen utskovsöppningarna vilket ledde till att dammen överströmmades längs hela sin längd. Maximala avbördningskapaciteten uppskattades till strax under 2000 m³/s. Efter incidenten byggdes dammen om, brobanan togs bort och avbördningskapaciteten ökades till 2200 m³/s. Foto på drivgodset vid Palagnedradammen visas i figur 1.



Figur 1. Palagnedra, Schweiz, 1978. (erhållet av Helmut Czerny på Österrikes nationella dammsäkerhetsmyndighet via Maria Bartsch, Svenska Kraftnät)

1.3.6 Johnstown flood, 1889, Pennsylvania, USA [9]

Vid tiden för händelsen var South Fork-dammen en av USAs största dammar, 20 m hög och 250 m lång. Underhållet hade varit dåligt och ägaren hade ignorerat säkerhetsrekommendationerna och satt in ett fiskgaller över utskovet. I samband med stora regn blev fiskgallret igensatt med drivgods vilket ledde till överströmning och dammbrott i fyllningsdammen. 2200 personer omkom.

1.3.7 Jordan River, 1955, British Columbia, Kanada [9]

Den 40 m höga dammen konstruerades 1912, och består av en 230 m lång betongdamm samt en 42 m lång fyllningsdamm. Dammen hade ursprungligen en 92 m lång överfallströskel som i samband med en dämningshöjning 1926 försågs med pelare på 5 m avstånd som stöd för horisontella träsättar och en brobana. 1955 inträffade det dittills högsta flödet ($1000 \text{ m}^3/\text{s}$). Man hann inte få bort alla träsättar och dessutom satte drivgods igen övriga utskovsöppningar. Dammen överströmmades med 0,6 m överfallshöjd vilket ledde till kraftig erosion. Höglödet hann dock avta innan erosionen ledde till dammbrott.

1.3.8 Bremgarten, 2005, Schweiz [3]

Anläggningen har fem stycken 8,8 m breda utskovsöppningar försedda med klaffluckor för finreglering och för att släppa förbi drivgods, samt bottenutskov för att avbörda större flöden. Vid ett höglöde 2005 kom stora mängder drivgods. Två av klaffluckutskoven sattes igen helt och under dessa fastnade

även enstaka träd i bottenutskoven, så att de inte kunde stängas helt efter att höglödet passerat. Övriga utskov fungerade normalt. Rensning av magasinet tog över 2 veckor och totalt 3300 m³ timmer kördes bort.

1.3.9 La Joie dam, British Columbia, Kanada [9]

Dammen byggdes 1951 och magasinet avverkades inte innan uppdämningen. På de branta stränderna fanns kraftig skog och flera skred har inträffat som dragit ned drivgods i magasinet. Utskovet skyddas av en drivgodsläns placerad strax uppströms dammen och ytterligare en läns i en smal sektion längre uppströms i magasinet. Den övre länsen innehåller ofta mycket drivgods. Vid en dammsäkerhetsutvärdering av dammen uppmärksammades att det smala utskovet skulle kunna sätta igen om drivgodset skulle frisläppas i samband med ett höglöde. Anmärkningen föranledde säkerhetshöjande åtgärder för att ta bort befintligt drivgods, upprustning av länsarna och breddning av utskovskanalen.

1.3.10 Pinet Dam, Frankrike [9]

Utskovet i Pinet-dammen konstruerades ursprungligen för ett 250-årsflöde på 3500 m³/s. Utskovet var indelat i tre sektioner, vardera med sex stycken 6,5 m breda utskovsöppningar försedda med segmentluckor som manövrerades med stålkablar. För att öka avbördningskapaciteten och förmågan att passera drivgods har utskovet byggts om på senare tid så att den nu har tre stycken 40 m breda öppningar försedda med hydrauliskt manövrerade klaffluckor.

1.3.11 Eglisau, Schweiz [3]

Denna damm har sex stycken 16,6 m breda utskovsöppningar försedda med 2 m djupa ytutskov och 1,8 m höga bottenutskov. Dammen ligger i övre delen av Rhen där stora mängder drivgods produceras av ett större biflöde. Under 90 år har man aldrig haft problem med drivgods som fastnar eller sätter igen utskov trots att ett flöde motsvarande 64 % av dimensionerande flöde inträffat och stora mängder drivgods har passerat dammen genom utskoven.

2 Riktlinjer gällande drivgods

2.1 Sverige, RIDAS

I bilaga 1 refereras de avsnitt i RIDAS huvuddokument och tillämpningsvägledning som berör drivgods. I RIDAS huvuddokument används begreppet flytgods. I tillämpningsvägledningen, används begreppen flytgods och drivgods. Drivgods behandlas under flera avsnitt i RIDAS:

- Organisation, kompetens och skriftliga förebilder
- Drift och beredskap
- Tillståndskontroll, felrapportering och underhåll
- Avbördningssystem

Drivgods beskrivs i RIDAS som ett problem för avbördningen eftersom igensättning av utskoven reducerar kapaciteten avsevärt, eller kanske helt och hållet. Förutom att drivgodset kan orsaka igensättning kan det genom mekanisk åverkan skada luckorna. Risken för störningar i avbördningssystemet genom olika typer av drivgods måste därför beaktas vid systemets utformning, konstruktion och materialval.

I huvuddokumentet beskrivs att ett säkert avbördningssystem ska ha tillräcklig kapacitet med häyn till drivgods eller en effektiv flytgodsbarriär konstruerad för förekommande laster. RIDAS anger tre sätt att hantera drivgods:

- förebygga uppkomsten av drivgods
- komplettera systemet med anordningar för att ta hand om drivgodset
- utforma systemet för att säkerställa att drivgodset passerar dammen.

Förebygga uppkomsten av drivgods kan ske på flera sätt, där ett sätt är att reducera mängden drivgods som når utskoven. Detta sker antingen genom att ta bort potentiellt drivgods kring reservoaren, eller genom användandet av länsar särskilt dimensionerade för att ta hand om drivgods.

Metoden att ta hand om drivgods som redan fastnat på utskoven beskrivs som mera osäker och erfarenheter visar att det snabbt kan uppstå besvärande mängder drivgods som inte kan tas om hand på ett säkert sätt. Eftersom händelser med mycket drivgods uppkommer i högflödessituationer är marginalerna då avsevärt mindre än normalt.

I tillämpningsvägledningen föreskrivs att hantering av flytgods skall finnas med i driftinstruktioner för skarp drift. I beskrivningen av störd drift nämns stora mängder flytgods som ett exempel på en kritisk situation och risken för att stora mängder flytgods sätter igen utskov skall beaktas i beredskapskrav. I checklistan för dammbesiktning av utskovsluckor ska flytgods beaktas. Risk för igensättning av och skador på utskov på grund av drivgods samt möjligheten att rensa utskov under pågående tappning nämns också som exempel på frågeställningar vid FDU. Drivgods nämns även i samband med beskrivning av felrapporteringssystemet.

Att utforma utskoven så att de kan låta förekommande drivgods passera utan att fastna nämns som ytterligare en metod. Nackdelen med detta anges vara att passerat drivgods då skickas vidare till nästa anläggning, om sådan finns. Dimensionering av utskovens bredd och djup ska ta hänsyn till förväntad storlek hos drivgods, vilket ofta utgörs av träd. Vid uppgradering för höga flöden, där vattenytan tillåts stiga, bör risken för igensättning mot överliggande bro beaktas.

Den mekaniska utrustning som ingår i avbördningssystemet skall med tillfredsställande säkerhet tåla dimensionerande laster, orsakade av till exempel flytgods. Vid val av lucktyp måste man ta hänsyn till ett antal faktorer, såsom mängden och formen på det drivgods som kan förväntas. I konstruktionsråden för segmentluckor anges att lucklagren bör placeras över vattenytan vid fullt öppen lucka. Detta för att undvika att flytgods kilar fast mellan betongvägg och luckbenen och på så sätt skadar luckben och lager. Risker för yttre påverkan, till exempel drivgods, måste beaktas för system för vattennivåmätning.

RIDAS ger ingen ledning till *hur* "förekommande laster" ska beräknas. Inte heller finns några riktlinjer kring *hur* man tar hänsyn till drivgods vid utformning av utskoven.

2.2 Norge

I Norge finns riktlinjer för hur man skall ta hänsyn till risken med drivgods[15].

Fara för drivgods i samband med en högflödessituation sägs speciellt finnas i områden med mycket lösa material och/eller skog längs älvstränder eller magasin, eller om låglänta områden eller erosionsutsatta områden används som lagringsplats för föremål som kan rivas med av vattnet. I varje fall skall faran för tillförsel av drivgods och resulterande igensättning av utskov värderas med hänsyn till utskovets utformning. Där det finns fara för igensättning skall det räknas med en igensättning på minst 25 % vid beräkning av avbördningskapacitet och dämningnivå för det aktuella magasinet. I de fall det är svårt att värdera faran för igensättning och/eller graden av igensättning bör det klargöras med NVE vilka förutsättningar som skall ligga till grund för beräkning av avbördning och vattenstånd.

2.3 Kanada

I de kanadensiska riktlinjerna för dammsäkerhet finns betänkanden gällande drivgods rörande avbördningskapacitet, magasin och miljö [9]. Nya dammar ska konstrueras så att utskovet kan hantera is och drivgods. Ett säkert utskov ska ha kapacitet att passera flytande drivgods vid dimensionerande flöde eller en effektiv drivgodsbarriär konstruerad för motsvarande belastning samt tillräcklig säkerhet för att hantera drivgods som riskerar att blockera och minska avbördningskapacitet hos intag, utskov och utskovskanaler. Drivgods i magasinet skall hanteras på ett sådant sätt att det inte kan bli en oacceptabel risk för dammsäkerheten. Att kontrollera drivgodskällor i avrinningsområdet och biflöden är det första försvaret mot potentiella drivgodsproblem. Träd och annat större drivgods skall tas bort före uppdämning. Aktiviteter såsom

flottning som påverkar mängden drivgods skall övervakas. Man bör överväga att ta bort större potentiella drivgodskällor eller kontrollera deras möjlighet att nå magasinet. Om drivgodset inte hindras från att nå avbördningsanordningarna kan drivgodset leda till en farlig situation. Hur allvarligt problemet blir beror på mängden och storleken på drivgodset och storleken, typen och utseendet på avbördningsanordningen.

2.4 Schweiz

I Schweiz finns inga riktlinjer för drivgodshantering men ämnet ingår som en del av säkerhetsutvärderingen vart femte år [3]. Genom dessa regelbundna säkerhetskontroller och erfarenheter har en "praxis för utformning" etablerats. Nya utskov i skogsområden ges en minsta bredd av 15 m och en överfallshöjd på 1,5-2 m. Erfarenheter har visat att smalare utskov (5-9 m) måste ha en överfallshöjd på 2-3 m för att inte sätta igen[3].

betydligt större drivgodsproduktion än om man bara räknar med ett stationärt flöde orsakat av nederbörden.

3.2 Metoder för beräkning av drivgodsmängd

3.2.1 Internationella erfarenheter

I DSIG's rapport del 1, "Debris yield reduction by management" [12], har en rundfrågning gjorts bland dammägare bland annat kring vilka metoder de har för att uppskatta mängden drivgods. Det finns ett antal metoder för beräkning av årlig mängd drivgods, vid normala förhållanden. Ingen har svarat att de har någon metod för beräkning av mängden drivgods i samband med högflöden eller extrema tillfällen.

Det konstateras att nuvarande kunskap för att bestämma drivgodsproduktion är mycket rudimentär. Orsaken är att drivgodsproduktion är ett mycket komplext problem. Olika typer av drivgods kan uppträda och förhållandena varierar stort mellan olika områden. Rapporten uttrycker sitt tvivel på att en metod skulle kunna användas på alla typer av områden. Dessutom finns en generell brist på kvantitativa data på vilket man kan bygga en numerisk modell.

Det man ofta använder sig av är statistik hur det var tidigare år. Uppskattningen görs på lokal nivå av driften. Ett undantag är BC Hydro där man gör detaljerad drivgodsbudget för dels medelårsproduktionen, dels maximala årsproduktionen. Beräkningsmetoden tar hänsyn till erosion av strandlinjen, skred, störtfloder, vindfällan och bidrag från biflöden.

3.2.2 Svenska exempel

Ett exempel på hur drivgods kan produceras och mängdberäknas vid ett extremt tillfälle har beskrivits i ett examensarbete som utfördes under 2008 vid Luleå Tekniska Universitet [2]. Syftet var att uppskatta möjlig mängd drivgods till följd av skred intill Luleälven. Frågor att besvara var dels hur stora landområden som har en skredrisk under en högflödessituation, dels vilken typ av vegetation man har i dessa områden.

Räddningsverkets översiktliga stabilitetskartering användes som underlag. Informationen utvärderades, räknades om till förhållandena som råder i en extremflödessituation, extrapolerades till områden som inte täcktes in, verifierades vid fältbesök och justerades vid behov.

En terrängmodell för älv dalen användes för att beräkna släntlutningar och SGU:s jordartskarta för att studera jordarter. SLOPE-beräkningar av släntstabilitet gjordes. Skogen delades i fyra olika vegetationsklasser och klassificerades genom fältbesök. Utifrån detta underlag beräknades antalet träd och volym av olika trädtyper och längder, som skulle kunna nå Vittjärn, Laxede respektive Porsi i form av drivgods. Antalet träd med en trädhöjd på över 15 m beräknades till knappt 3000 för Vittjärn, ca 2000 för Laxede och ca knappt 7000 för Porsi.

Ett annat exempel på beräkning av möjlig drivgodsproduktion vid en anläggning i samband med extremflöde har utförts av WSP. Studien avser Höljesdammen i Klarälven [16]. Hela området ligger över högsta kustlinjen och enligt SGU:s jordartskarta finns ingen finjord eller lösa sediment och alltså liten risk för skred. Metoden att med hjälp av stabilitetsberäkningar ta fram skredriskområden längs vattendragen var alltså inte tillämplig i Höljes. Istället utvärderades risken för erosion som skulle kunna leda till ras i branta slänter samt vindfällan i översvämningssområdet.

För att bedöma förutsättningen för erosion beräknades vattenhastigheter i trånga sektioner av älven och jämfördes med gränshastigheten för erosion för de förekommande materialen. Utifrån detta bedömdes risken för betydande erosion längs magasinets stränder som liten.

Kring Höljessjön bedömde WSP att vindfällning kan komma att bli den huvudsakliga orsaken till drivgods vid ett dimensionerande flöde. Träd som är ca 20 m höga antas kunna föras bort av vattnet om de står inom 10 m från vattenlinjen. Andelen träd som kan stormfällas i normal skog ligger på ca 3-5 %. Nygallrade bestånd, hyggeskanter och fröträdsställningar drabbas normalt värre. För en tunn zon sparad mot en strand kan det handla om alltifrån 10 % till 100 % [7].

Digitalt underlag om skogsbestånd togs från SLU:s databas [11]. Där fanns bland annat information om förväntade trädhöjder. En fältinventering av skogsbestånd och geologi kring Höljessjön och uppströms ävlsträcka utfördes också. Jordart, släntlutning, slänthöjd, vegetationstyp, eventuella konstruktioner eller erosionsindikationer noterades för delsträckor av stranden av olika typer. En bedömning gjordes av antalet träd som stod inom "fallavstånd" från vattenlinjen vid dämningssgräns samt vid överdämning.

Med kännedom om översvämningssyta, antal träd/m², och möjlig andel vindfällna träd beräknades möjlig drivgodsproduktion från huvudfåra och biflöden till mellan 10000 och 13000 träd.

4 Metoder för att minska drivgodsproduktionen

Att förebygga uppkomsten av drivgods kan ske genom att ta bort potentiellt drivgods kring reservoaren. Det man kan tänka sig är att årligen eller med jämna mellanrum städa älven/magasinet och biflödena från allt som vid extremt flöde kan överströmmas och följa med strömmen.

I Sverige är det inte tillåtet att avverka skog i strandzoner. Metoden att större träd fälls och tas bort i områden som är känsliga för skred, eller som kommer att påverkas av extremt flöde i älven/magasinet och i biflödena är därför troligen inte tillämpbar. Vid avverkning kring magasin och vattendrag fås istället strandnära kantzoner med träd som blir mycket vindutsatta.

I rapporten "Debris yield reduction by management" [12] dras slutsatsen att det inte finns möjligheter att genom åtgärder i avrinningsområdet minska drivgodsproduktionen. Man refererar till en dammägare (Ontario Power Generation) som genomfört ett städprogram utan att det kunde märkas i drivgodsmängden som nådde dammen.

Att ha en skötselplan för stränderna och biflödena är dock aldrig negativt. Om allt löst och de största träden tas bort kan de inte komma flytande mot utskoven. Att ta bort drivgods kan troligen vara ett effektivt sätt att minska drivgodsbelastningen under måttliga flöden. Det är dock inte troligt att stora drivgodsmängder kan undvikas helt vid större flöden, ens om de mest stringenta skötselplaner tillämpas.

Det bör utredas vidare vilka åtgärder som kan genomföras med hänsyn till gällande miljölagstiftning. Träd som delvis ligger i vattnet kan vara viktiga för djurlivet och vara viktiga habitat vilket skulle kunna innebära att det inte är genomförbart att städa längst stränderna. Regelbunda rensningar kring magasin förekommer hos svenska dammägare idag. Det är troligen svårare att få tillstånd att rensa längs älvstränder och i mindre vattendrag.

5 Metoder för att stoppa drivgods i vattenvägen innan utskoven

Metoder för att hindra drivgods från att nå utskoven kan bestå av åtgärder i vattendrag och magasin. De alternativ som tas upp i denna rapport är

- Drivgodslänsar
- Utnyttjande av naturliga formationer
- Drivgodsfällor

Tre av DSIG-rapporterna är författade av BMT Fleet Technology Limited, Kanada, och speglar förhållandena främst i Kanada och USA. Det är viktigt att notera att det som där görs avseende drivgods är avsett för att hantera den dagliga driften, inget är anpassat till extrema tillfällen.

5.1 Länsar

Länsar för att stoppa drivgods och för att leda bort drivgods till ofarliga områden används idag i många länder. Under flottningstiden i Sverige fanns stor kunskap hur länsar skulle dimensioneras och byggas för att kunna kontrollera timmerflödena förbi våra vattenkraftverk. I Kanada och USA visar DSIG's rapport "Failure modes for debris booms" [13] att länsar är nödvändiga i den dagliga driften. Där visas exempel på länsar, både stopplänsar och ledlänsar.

Förhindrande av drivgods med hjälp länsar är en välbeprövad och kostnadseffektiv metod. För att ta hand om det drivgods som kommer varje år är länsar ett användbart redskap som fyller en stor funktion i den dagliga driften. Om länsen inte uppträder som det var tänkt finns tid och möjlighet att göra någonting åt det. Det finns anläggningar i Sverige som har dagliga driftproblem och där kan de göra nytta.

Att lita på länsar under extrema tillfällen med höga flöden/vattenhastigheter med återkomsttider på kanske hundratals år är dock inte möjligt. Man vet alltför litet om hur en eventuell stoppläns eller ledläns kommer att fungera och vilka krafter den kan utsättas för under ett extremt tillfälle som den måste konstrueras för. Man får ingen möjlighet att testa länsarna för det de är byggda för och vet alltså inte hur de fungerar förrän det är skarpt läge, det vill säga erfarenhetsåterföring för att kunna förbättra utformningen kan dröja flera hundra år eller tusen år. Länsar används ofta som ett "one-line defence" mot drivgods. Om länsen går sönder släpps en koncentrerad drivgodsmängd lös. Dessutom blir länsen själv drivgods.

I DSIG- rapporten [13] konstateras att det finns många sätt som en läns kan fungera fel på. Felen delas in i svårighetsgrad från mindre allvarliga fel till mycket allvarliga fel som innebär att länsen överhuvudtaget inte kan fylla sin uppgift.

Beroende på länstyp och design, typ av drivgods, lokala förhållanden etc. kan en mängd olika felfunktioner inträffa, till exempel:

- Oförmåga att hålla kvar eller leda bort drivgods. Erfarenheter visar att drivgods kan gå över eller under länsen beroende på olika faktorer.
- Länsen trycks ner under vattenytan av strömkrafterna. Detta leder till att drivgods passerar över länsen men också till mer allvarligt slitage.
- Slitage av olika komponenter som schackel- eller utmattningsbrott genom vibrationer. Med tiden leder detta till lokal eller total förlust av länsens funktion. Observera att slitage uppkommer även under normala flödessituationer. Om ett brott på länsen skall inträffa är det sannolikt att detta sker vid ett extremtillfälle under extrem belastning.
- Med en konstruktion där läns-elementen är kopplade till en bärwire innebär ett brott hos ett läns-element ett begränsat bortfall av länsens funktion.
- Om bärwiren går till brott innebär det att länsens funktion slås ut helt.
- Med en konstruktion där läns-elementen är kopplade till varandra innebär ett brott att hela länsens funktion slås ut.

Det finns andra oväntade händelser som kan leda till hel eller delvis förlust av funktion hos länsen. Tyvärr finns ingen statistik över den relativa frekvensen för felfunktion hos länsar. DSIG-rapporten rekommenderar uppbyggnad av en databas för information om länsars beteende.

Ett exempel från rapporten [13] är en läns som höll endast 10 minuter efter att den hade installerats vid en av Ontario Power Generations anläggningar. Där fanns möjligheter att ändra utformningen utan att något allvarligt inträffade. Om detta hade varit en läns för att stoppa eller leda bort drivgods under ett extremtillfälle skulle man kanske inte veta om svagheterna förrän det uppstår ett skarpt läge.

Det finns också ett betydande underhållsbehov för att hålla länsarna funktionsdugliga. I många magasin utgör stora regleringsamplituder ett problem. Troligen behöver länsar tas in över vintern för att undvika slitage. Detta innebär en risk i form av att rutinerna fallerar. Permanenta länsar innebär också höga underhållskostnader. Slutsatsen är att det inte kan rekommenderas att länsar används för att stoppa eller leda drivgods under extrema tillfällen.

5.1.1 Laster på länsar

Rapporten "Dynamic loads on debris booms" [14] gör en sammanställning av olika 2-dimensionella metoder för att beräkna hur krafterna från en ansamling av drivgods mot en läns överförs till länsen. Detta lastfall kallas statisk last. Man konstaterar att resultatet från de olika metoderna varierar stort vilket skulle indikera att man inte vet exakt hur lasterna uppkommer. Den lastöverföring som sker mot stränderna utelämnas även.

I rapporten visas också beräkningar av den dynamiska kraften från en drivande ansamling av drivgods som träffar en läns eller en ansamling drivgods framför länsen. I det senare fallet får man en stötdämpande effekt

som mycket beror på hur drivgodset komprimeras i sammanstötningen. Tyvärr saknas kvantitativ information för att definiera egenskaper hos drivgodset som till exempel ansamlingens storlek, hastighet vid sammanstötningen, typ av drivgods och uppträdande vid ett extremtillfälle.

Den slutsats man drar är att relativt små massor av drivgods, det man tror kan vara "normala" förhållanden, kommer att ge små dynamiska laster som är relativt obetydliga jämfört med den statiska lasten. De extra lasterna ryms normalt inom den säkerhetsmarginal som en seriös konstruktör bör använda sig av. Man gararderar sig dock genom att säga att om en mycket stor ansamling av drivgods kommer drivande mot länsen så kan detta ge upphov till dynamiska laster i länsen som inte ryms inom säkerhetsmarginalen.

Dimensioneringsmetoder beaktar inte dynamisk last från drivgods. I Palagnedra-fallet kan ses att drivgods kan ackumuleras och bilda dammar/dämmen vid broar, skarpa kurvor i vattendraget, etc. Slutligen bryter flödet igenom drivgodsdammen och ger en flodvåg av stockar och vatten. Från modellförsök vet man att om träd kommer i brötar är det mycket större sannolikhet att träden fastnar i utskoven. Sannolikheten att en läns brister är naturligtvis också störst under extrem belastning och länsen i sig är en dammsäkerhetsrisk om den lossnar och fastnar i utskoven.

Slutsatsen när det gäller laster är att mycket återstår att göra, både för att kunna dimensionera för den statiska lasten som antagligen är den dominerande, och för att få grepp på om det kan förekomma så stora ansamlingar av drivgods att den dynamiska lasten kan vara dimensionerande.

5.2 Naturliga formationer, tvärströmmar

Ett annat exempel på hur drivgods kan hindras innan det når dammen är Frazer river debris trap. Där utnyttjar man tvärströmmar, orsakade av älvens geometri, med en vänsterkrök i älven, som samlar drivgodset på högra sidan av älven. Drivgodset leds sedan in i en fälla där det stoppas upp och sedan tas bort mekaniskt, se figur 2.

Detta koncept skulle kunna vidareutvecklas för att kunna användas även där älven är rak genom att med styrfenor på botten skapa tvärströmmar för att föra drivgodset till en sida av älven där man kan fånga upp det. Långsiktigt hållbara konstruktioner bör användas för uppsamlingen, till exempel en rad pelare eller dykdalber. Området där drivgodset samlas in måste vara anpassat till den förväntade mängden drivgods så att borttransporten kan göras efter det att extremflödet passerat.



Figur 2. Frazer river debris trap utnyttjar kurvan åt vänster som för över drivgodset till högra sidan.

5.3 Drivgodsfällor

Från Österrike och Schweiz finns exempel på fångstnät av till exempel stålringar som hindrar "debris" att komma ut i älven/magasinet, se figur 3. Debris kan i det fallet betyda både flytande drivgods och en blandning av vatten, sten, grus och jord.

Det finns även exempel på drivgodsfällor i form av mer robusta konstruktioner, såsom betongpelare.

Drivgodsnäten/fällorna för biflödena är tveksamma för en Extremsituation. Ett nät som spänns i mynningen till ett biflöde anses utgöra en risk, då det kan orsaka en fördämning för vilken det är svårt att bedöma konsekvenserna av om den brister. Det finns inte heller möjlighet att testa dem för den situation de är konstruerade för. Dessutom är det svårare för driftspersonal att sköta underhåll på en plats långt från anläggningen. De är kanske mest användbara mot "debris flow" vilket innebär en blandning av vatten, jord, grus, stenar och träd.



Figur 3. Nät vid mynningen av mindre tillflöde, Österrike 2007. (erhållet av Helmut Czerny på Österrikes nationella dammsäkerhetsmyndighet via Maria Bartsch, Svenska Kraftnät)

6 Metoder för att minska risken för igensättning av utskoven

6.1 Sannolikheten för ett träd att fastna i ett utskov

Modellförsök med drivgods har utförts i Sverige i början av 90-talet och under 2000-talet i det stora DSIG-projektet. Försök har också gjorts i Norge, Kanada, Österrike etc. DSIG's modellförsök "Floating debris and dam safety: Hydraulic model tests" [5] omfattar försök med olika skalor, test av olika parametrars betydelse för sannolikheten att ett träd fastnar i ett utskov och den kvarvarande utskovskapaciteten efter att 100 träd fastnat i utskovet. Dessutom prövades en möjlig åtgärd mot igensättning av utskov kallat visir. Modellförsöken redovisas i bilaga 2.

Modellskalans inverkan på resultaten undersöktes. Slutsatsen är att drivgodset uppträder på samma sätt i de skalor som användes, och att modellförsök därmed är ett värdefullt verktyg när man skall utforma utskov i en damm med hänsyn till drivgods.

Om träden når utskoven ett och ett eller i en bröt av flera träd har mycket stor betydelse för sannolikheten för träden att passera. I försöken var sannolikheten 0 % att ett enstaka träd fastnade om trädets längd var lika med eller mindre än utskovets bredd. Om träden kom i en bröt av fem träd var motsvarande sannolikhet 2,5 %.

Med ökande trädlängd i förhållande till utskovets bredd ökar snabbt sannolikheten för att även enstaka träd fastnar i utskovet. Det visar sig att även om sannolikheten är låg för att ett träd ska fastna i ett utskov så kommer ändå, om det finns tillräckligt många träd, en betydande reduktion av avbördningskapaciteten att inträffa. Det behövs bara att ett träd fastnat så kommer efterföljande träd att fastna och bygga en bröt i utskovet.

Drivgodsets uppträdande som enskilda träd eller som brötar antas ha samband med produktionen. 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. 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 [1].

Ett ensamt utskov har större sannolikhet att låta träd passera än om flera utskov ligger intill varandra. Detta kan förklaras med att vid ett ensamt utskov kommer accelerationen mot utskovet att vrida trädet i strömriktningen, denna effekt är betydligt mindre när fler utskov ligger intill varandra.

Försök med en brobana som ligger uppströms tröskeln visar att brobanan ska ligga minst 1,7 m över uppströms vattenstånd för att inte påverka sannolikheten för att ett träd skall fastna. Underkant på luckan kunde däremot ligga lägre utan att påverka sannolikheten att ett träd skall fastna. Förklaringen är att hastigheten är större vid luckläget vilket dels gör att träden har svårare att fastna och dels att vattenståndet sjunker undan.

När det gäller uppströms vattendjup (uppströms tröskeln) verkar det inte påverka sannolikheten för ett träd eller en grupp av träd att fastna.

Påverkan på sannolikheten av utskovets form (djup i förhållande till bredd) är mer tveksam. För en grupp av träd minskar sannolikheten för att den fastnar med ett ökande djup i förhållande till bredd när de ingående träden i gruppen har en längd på 1,5 gånger utskovets bredd. Om de ingående trädens längd är 2 gånger utskovets bredd är det först vid det högsta provade värdet på djupet som sannolikheten sjunker.

6.2 Kvarvarande utskovskapacitet

Den kvarvarande utskovskapaciteten efter det att ett utskov har satts igen av 100 träd har provats dels i Obernach och dels i en modell av en vattenkraftanläggning vid Älvkarlebylaboratoriet. Hur igensättningen sker beror till stor del på vattenhastigheter framför utskovet och densitet på träden. Träd med högre densitet dras lättare ner framför ett utskov och bygger på bröten nedåt och ökar tjockleken, medan lättare träd ligger kvar i ett eller två lager och ett större täcke.

Påverkan på utskovets kapacitet kan redovisas dels som ökning av överfallshöjden för att få ut ett konstant flöde dels minskning av flödet genom det igensatta utskovet när överfallshöjden är konstant. Vid igensättning av utskovet så ökar uppströms vattenstånd. För 100 träd som fastnat i ett utskov ökar överfallshöjden mellan ca 30 % och 50 % för de högre densiteterna, vid lägre densitet på träden är ökningen mindre, träden dras inte ner lika lätt mot djupet.

När ett utskov är igensatt med drivgods ändras också dess avbördningskaraktäristik så att avbördningen inte ökar lika snabbt vid ökande vattenstånd som för ett ytutskov. Avbördningskaraktäristiken liknar något mittemellan ett ytutskov och ett bottenutskov.

6.3 Kvarvarande utskovskapacitet med visir

I de modellförsök som utfördes för DSIG-rapporten [5] prövades en möjlig åtgärd mot igensättning av utskov kallat visir. Ett visir är en konstruktion uppströms utskovet exempelvis i form av balkar som ligger i en lutning på 15 till 30 grader till horisontalen. Tanken är att stoppa drivgodset i ett område där vattenhastigheten är lägre än intill utskovet och få drivgodset att flyta i ett lager vilket minskar reduktionen av utskovets kapacitet. Visiret gör också att drivgodset skjuts upp på det sluttande planet där man har möjlighet att rensa bort det.

Ökningen av överfallshöjd är betydligt lägre med visir än utan. Detta gäller speciellt där man har ett större djup uppströms utskovet. Med ett djup

uppströms utskovet som är lika stort som överfallshöjden är ökningen av överfallshöjd bara ca 2 % för 100 träd med den högsta densiteten. Avbördningskaraktärstiken är nu också mer likt ett utskov som inte är igensatt med drivgods.

Genom att stoppa drivgodset i ett område med lägre vattenhastighet med hjälp av ett visir uppströms utskovet kan man minska igensättningen med drivgods. En annan fördel är att lösningen inte sänder drivgodset vidare ner till nästa damm.

I de modellförsök som genomförts har dock bara 100 träd använts. För att kunna värdera nyttan av ett visir måste man för det aktuella utskovet pröva olika antal träd och med varierande men känd densitet. Visirlösningen har bara testats ur strömningsteknisk synpunkt. En eventuell konstruktion i verkligheten kommer att ställas inför en mängd olika krav som till exempel hur den skall klara vintern med dess islaster.

I Höljesprojektet föreslog WSP en visirkonstruktion bestående av en platsgjuten betongkonstruktion där väggar med flackt lutande uppströmskant fungerar som visir, se figur 4. Väggarna sammanbinds av betongplattor i botten och en brobana i överkant och klarar härigenom islast. Från brobanan kan drivgodset tas upp när flödet har avtagit. Den stora regleringsamplituden i Höljes skulle möjliggjort att bygga drivgodsvisiret i torrhet. Modellförsök med drivgods mot visiret utfördes i Älvkarleby, se figur 4. Modellförsöken gjordes med 100 träd som bestod av ansade plantor. Modellförsöken visade att visiret i huvudsak fungerade som avsett. I Höljes valdes dock att lösa drivgodsproblematiken genom att tillföra ett nytt bredare utskov. I det bredare utskovet är igensättningsrisken mindre och med den ökade utskovskapaciteten erhöles också marginal för partiell igensättning.

Det finns exempel på visirlösningar i Tyskland och Österrike som konstruerats något annorlunda, men efter samma princip, att stoppa drivgodset där hastigheten är lägre.



Figur 4. Modellförsök med drivgodsvisir i Höljes.

6.4 Borttagande av drivgods vid utskoven

Metoden att ta hand om drivgods som redan fastnat på utskoven är osäker och erfarenheter visar att det snabbt kan uppstå besvärande mängder drivgods som inte kan tas omhand på ett säkert sätt. Särskilt bör beaktas att händelser med mycket drivgods uppstår i högflödessituationer, vilket gör att marginalerna är avsevärt mindre än normalt.

Rensning av utskov där träd fastnat under vattenytan har visat sig vara mycket svårt, strömkrafterna tar tag i varje typ av redskap man kan tänka sig använda. I ett exempel från Norge under oktoberflommen 1987 så arbetade två schaktmaskiner, fem lastbilar, två skogsmaskiner och 20 man med motorsågar med att öppna ett igensatt utskov utan att lyckas [9].

Erfarenheter från Schweiz [3] visar att det är omöjligt att i det akuta skedet hantera drivgods som nått utskoven med personal och maskiner. Som exempel ges ett fall i Bremgarten där det tog två veckor med tunga maskiner att ta bort drivgodstacket från magasin och stränder [3].

Det är alltså viktigt att hindra träden från att fastna i utskoven och det bedöms inte robust att lita till att personal ska kunna rensa framför utskoven.

6.5 Metoder för att göra dammen mindre känslig för drivgods/öka kapaciteten att passera förbi drivgods

Att utforma utskoven så att de kan låta förekommande drivgods passera utan att fastna är ytterligare en metod. Nackdelen med detta är att drivgodset då skickas vidare till nästa anläggning, om sådan finns. För att säkerställa att drivgods kan släppas förbi anläggningen utan att blockera eller skada anläggningen ska utskovens bredd och utskovens djup ta hänsyn till förväntad storlek hos drivgods, vilket ofta utgörs av träd. Vid uppgradering för höga flöden, där vattenytan tillåts stiga, bör risken för igensättning mot överliggande bro beaktas. Utskovet skall inte ha några pelare, eller så ska pelarna ha ett avstånd som är en faktor större än den längsta förväntade trädlängden. Även utformningen av anläggningen och placering av utskoven i förhållande till varandra bör beaktas.

En möjlighet är att bygga om eller bygga till utskovspartiet med luckor med tillräckligt bredd och djup för säker passage av drivgods. Enligt schweizisk praxis [3] ges till exempel nya utskov i skogsområden en minsta bredd av 15 m och en överfallshöjd på 1,5-2 m.

Drivgodsblockering av lucköppningsmekanismen ska utgöra minsta möjliga risk och om lucköppningsmekanismen misslyckas ska luckorna helst öppnas av egenvikt och ökande last på uppströmssidan [9]. En lucktyp som börjar diskuteras är klaffluckor som är mer vanliga i till exempel Norge. Fördelen med en klafflucka är att vattnet strömmar över den och att risken för att drivgods skall blockera luckan är betydligt mindre än för segmentluckor. Dessutom står de stängda på ett aktivt hydraultryck vilket innebär att man alltid kan öppna luckorna genom att släppa på trycket. Klaffluckorna kan byggas mycket breda. Dock är djupet begränsat. Sektorluckor kan också vara en lämplig lösning ur drivgodssynpunkt eftersom de är nedåtgående och självöppnande. De kan dessutom göras med stort djup. Sektorluckor är dock olämpliga för reglering vintertid eftersom is kan bildas på pelarsidorna.

För fyllningsdammar är utskovet normalt sett byggt som en separat struktur där en viktig faktor av ekonomiska skäl har varit att få en hög kapacitet med liten bredd. Detta har ofta lett till utskov som inte är tillräckligt breda för att vara drivgodssäkra.

För att göra dammen med dess utskov mindre känslig för drivgods kan man tänka sig att utskoven kompletteras med breda och tillräckligt djupa eroderbara utskov, så kallade "fuse plugs". Det vattenstånd som skall utlösa den eroderbara dammdelen måste ligga så högt över dämningsskänningen att den inte utlöses i onödan. Samtidigt måste det finnas tillräcklig marginal till dammkrön (eller tät kärnans överkant) så att man med säkerhet vet att den eroderbara dammdelen utlöses innan vattnet når dammkrön.

Saker att fundera över är hur det hela fungerar under vinterhalvåret då tjälen ligger djup och om det finns behov av ett nödutskov för drivgods under vintern. Ett alternativ skulle kunna vara att rent mekaniskt utlösa den eroderbara dammdelen med grävmaskin, sprängning etc. Någon måste i så fall ta beslut om när detta ska göras. De fuse plugs som finns idag har i allmänhet inte dimensionerats för hela flödet utan är ett komplement till övriga utskov.

7 Slutsatser och rekommendationer

Risken för störningar i avbördningssystemet genom olika typer av drivgods måste enligt RIDAS beaktas vid systemets utformning, konstruktion och materialval. Ett säkert avbördningssystem ska ha tillräcklig kapacitet med hänsyn till drivgods eller en effektiv flytgodsbarriär konstruerad för förekommande laster. RIDAS anger att drivgods kan hanteras genom att förebygga uppkomsten av drivgods, komplettera systemet med anordningar för att ta hand om drivgodset eller utforma systemet för att säkerställa att drivgodset passerar dammen.

RIDAS ger dock ingen ledning till *hur* "förekommande laster" ska beräknas eller *hur* man tar hänsyn till drivgods vid utformning av utskoven.

Modellförsök har visat att sannolikheten för att ett träd fastnar i utskovet ökar med ökande trädlängd i förhållande till utskovets bredd. Det visar sig dock att även om sannolikheten är låg att ett träd fastnar i ett utskov så kommer ändå, om det finns tillräckligt många träd, en betydande reduktion av avbördningskapaciteten att inträffa.

De metoder för att uppskatta mängden drivgods som redovisas i DSIG's rapporter gäller den årliga drivgodsproduktionen. För att bedöma drivgodsmängder vid extrema tillfällen i Sverige är statistiska metoder inte tillämpbara eftersom det saknas underlag för sådana analyser.

Det finns olika beräkningsmetoder för drivgodsproduktion baserade på förutsättningar i omgivningen, såsom till exempel topografi, skogsbestånd samt risk för skred, ras och erosion. Dessa skulle kunna utvecklas men man måste tänka på att varje vattendrag och anläggning har sina egna förutsättningar.

De metoder/åtgärder som bedöms vara möjliga att använda för att hantera drivgods vid extrema tillfällen i Sverige och som därför föreslås utvärderas vidare är:

- Skötselplaner, borttagande av fallna träd på land och i vattnet längs strandkanten. Regelbunda rensningar kring magasin förekommer idag. Det bör utredas vidare vilka åtgärder som kan genomföras med hänsyn till gällande miljölagstiftning.
- Förstärkning av skred- och raskänsliga slänter. Det kan vara svårt att få tillstånd till omfattande åtgärder med förstärkning av slänter. Möjligheter till att göra överenskommelser på frivillig basis kan undersökas vidare.
- Utnyttjande av terrängen för att skapa tvärströmmar för uppsamling av drivgods innan det når utskoven. Tvärströmmar skulle även kunna skapas med hjälp av styrfenor på botten där älven är rak.
- Drivgodsfällor i biflöden bör utredas vidare både med hänsyn till gällande miljölagstiftning och fällornas lämplighet i en extremsituation. Ett nät som spänns i mynningen till ett biflöde kan orsaka en fördämning för vilken det är svårt att bedöma konsekvenserna av om

den brister. Dessutom är det svårare för driftspersonal att sköta underhåll på en plats långt bort från anläggningen.

- Visir uppströms utskov som genom att stoppa drivgodset i ett område med lägre vattenhastighet kan minska igensättningen med drivgods. En annan fördel är att lösningen inte sänder drivgodset vidare ner till nästa damm. Visirlösningen har bara testats ur strömningsteknisk synpunkt och för 100 träd. För att kunna värdera nyttan av ett visir måste man för det aktuella utskovet pröva olika antal träd och med varierande densitet. En eventuell konstruktion i verkligheten kommer att ställas inför en mängd olika krav som till exempel hur den skall klara vintern med dess islaster. Förslag på en betongkonstruktion som skulle klara islaster har tagits fram för Höljes men det är ännu en oprövad lösning.
- Öka kapaciteten att passera förbi drivgods genom att bygga om smala utskov till bredare och där så är möjligt ersätta segmentluckor med klaffluckor eller sektorluckor som är nedåtgående och självöppnande. Nackdelen med detta är att passerat drivgods då skickas vidare till nästa anläggning, om sådan finns.
- Anordna överkapacitet i avbördningsförmågan för att kompensera för en eventuell partiell igensättning av utskoven med drivgods.
- Anordna eroderbara dammdelar ("fuse plugs") som kan kompensera för bortfall av avbördningskapacitet på grund av igensättning av drivgods. Utlösningen av den eroderbara dammdelen har många aspekter att ta hänsyn till såsom fribord, vågor, tjäle, långtidsfunktion, mm.

Länsar bedöms inte vara ett tillräckligt robust alternativ för att hantera extrema tillfällen. Rensning av drivgods framför utskov med hjälp av personal och maskiner bedöms inte heller som en möjlig metod i samband med en Extremsituation.

Verktyg för att bedöma sårbarhet och konsekvenser av drivgods för en anläggning saknas. Ett användbart verktyg för detta skulle kunna vara ett frågeschema som utifrån gällande förutsättningar vid varje damm ger en "sårbarhetsklass" för drivgods. Sårbarhetsklassen skulle kunna baseras på potentiell drivgodsmängd, dammens känslighet för drivgods (utskovsgeometrier mm) och dammens flödesdimensioneringsklass.

Utifrån sårbarhetsklassificeringen ges olika alternativ för hur drivgodsfrågan bör hanteras och vilka vidare undersökningar och/eller åtgärder som kan vara nödvändiga för den specifika anläggningen. För att bedöma vilka åtgärder som är relevanta att gå vidare med vid respektive anläggning måste även förutsättningarna att hantera drivgods vid övriga anläggningar längs älvsträckan beaktas. Drivgods bör ses som en älvgemensam fråga som måste hanteras samordnat av berörda dammägare.

För att fylla kunskapsluckan om reduktion av avbördningskapacitet vid igensättning av utskov med fler träd än 100 behövs fler modellförsök. Detta kan göras som generella och/eller anläggningsspecifika försök med och/eller utan visir.

8 Referenser

- [1] Johansson, N., 1995. Drivgoods vid dammar. VASO dammkommittés rapport nr 6.
- [2] Minarski, R., 2008. Assessment of the potential amount of floating debris in Lule river. 2008:072 PB.
- [3] Otto, B., 2010. Höljes Dam Safety Pier Review-Review of Design Alternatives.
- [4] Wallerstein, N. & Thorne, C.R., 1995. Debris control at hydraulic structures in selected areas of Europe.
- [5] Johansson, N., 2010. Floating debris and dam safety: Hydraulic model tests. CEATI Report No. T052700-0209A/4.
- [6] Yang, J., Johansson, N., Cederström, M., 2009. Handling reservoir floating debris for safe spillway discharge of extreme floods-laboratory investigations.
- [7] Gillgren, I., 2009. Bergvik Skog, Muntligen.
- [8] SMHI, 2003. Regnkatastrofen på Fulufjället 30-31 augusti 1997. Faktablad nr 13, Maj 2003.
- [9] Rundqvist, J., 2005. Debris in Reservoirs and Rivers – Dam Safety Aspects. CEATI Report No. T042700-0209.
- [11] <http://skogskarta.slu.se/>
- [12] Comfort, G et al., 2010. Debris yield reduction by management. CEATI report No. T052700-0209A/1.
- [13] Comfort, G et al., 2010. Failure modes for debris booms. CEATI report No. T052700-0209A/2.
- [14] Comfort, G et al., 2010. Dynamic loads on debris booms. CEATI report No. T052700-0209A/3.
- [15] Norges vassdrags- og energidirektorat, 2009. Retningslinjer for flomberegninger til § 5-7 i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg.
<http://www.nve.no/Global/Forskrifter/H%c3%b8ringer/Retningslinjer%20flomberegning%20eksternt%20h%c3%b8ringsutkast%2031-3-2009.pdf?epslanguage=no>
- [16] Åstrand, S., 2009. Höljes kraftverk-Drivgoodsutredning. WSP.
- [17] Østmoe, A., 1985. Stor-osen 1789 Værsystemet som førte til den største flomkatastrofen i Norge.

BILAGA 1

Sammanställning av riktlinjer i RIDAS gällande drivgods

I detta dokument refereras de avsnitt i RIDAS huvuddokument och tillämpningsvägledning som berör drivgods.

I RIDAS huvuddokument används begreppet flytgods.

I kapitel 7.4-Avbördningssystem finns riktlinjer gällande drivgods.

7.4.1 Ett säkert avbördningssystem har följande egenskaper eller kännetecken:

- ...
- tillräcklig kapacitet eller en effektiv flytgodsbarriär konstruerad för förekommande laster.

7.4.3.1 Avbördningssystemet skall fylla sin funktion ifråga om kapacitet. Vid en utvärdering av systemets kapacitet skall förhållanden som kan misstänkas påverka avbördningssystemet beaktas. En damms avbördningssystem skall vara så väl dimensionerat att det under alla förhållanden, med beaktande av flödets varaktighet, utan risk för allvarlig skada på dammen tål och avbördar alla flöden upp till det dimensionerande flödet.

7.4.4.1 Systemet utformas så att sannolikheten för utebliven avbördning eller annan felfunktion blir låg vid ett godtyckligt fel i funktionskedjan. Tillgängligheten hos avbördningsfunktionen anpassas till dammens konsekvensklass.

[...]

Vid systemutformning, konstruktion och materialval beaktas risken för miljöpåverkan, brand, sabotage samt yttre händelse. Med miljöpåverkan avses EMC (elektromagnetisk kompatibilitet), regn, flytgods, vind, temperatur, is, djur etc.

7.4.4.2. Den mekaniska utrustning som ingår i avbördningssystemet (luckor och drivmaskineri etc.) skall med tillfredsställande säkerhet tåla dimensionerande laster.

Laster och deformationer kan orsakas av vattennivåer, flytgods, is, vibrationer etc. Islast på lucka behöver ej beaktas om erforderlig isfrihållning sker.

I tillämpningsvägledningen, används båda begreppen flytgods och drivgods. De avsnitt som tar upp dessa är:

4. Organisation, kompetens och skriftliga förebilder
5. Drift och beredskap
6. Tillståndskontroll, felrapportering och underhåll

7.4 Avbördsningssystem

I kap 4, föreskrivs att hantering av flytgods skall finnas med i driftinstruktioner för skarp drift. I kap 5 anges stora mängder flytgods som sätter igen utskov som en risk som skall beaktas för beredskapskrav. Avsnitt 7.4 i tillämpningsvägledningen föreskriver konstruktionsråd för segmentluckor: ”Lucklagren bör placeras över vattenytan vid fullt öppen lucka. Detta för att undvika att flytgods kilar fast mellan betongvägg och luckbenen och på så sätt skadar luckben och lager.”

4.3 DTU-manual

[...]

Driftinstruktion

För att kunna upprätthålla säker drift är det nödvändigt att alla berörda, produktionsledning, driftansvarig/ driftledning, kopplingsansvarig/driftledare, funktionen driftmässig tillsyn och beredskap har en samstämmig och enhetlig dokumentation i form av en driftinstruktion för anläggningen. Driftinstruktionen skall beskriva ansvarsförhållanden och åtgärder vid drift av anläggningen och då speciellt drift vid höga flöden och drift vid kritiska situationer. [...]

3. Skärpt drift (Drift vid höga flöden)

Instruktioner enligt pkt. 6 under avsnitt 4.3

Kriterier för begreppet ”högt flöde”.

Förstärkt beredskap och utökad driftmässig tillsyn för anläggningen.

Hantering av flytgods och/eller is.

5.2.3 Störd drift (Drift vid kritiska situationer)

En kritisk situation har uppstått och åtgärder måste vidtas. Exempel på sådana situationer är ras, stora mängder flytgods som sätter igen utskov, luckhaverier, haverier på väsentliga komponenter som förändrar tappningskapaciteten och i extremfallet orsakar dammbrott. Åtgärder anpassade till rådande förhållanden vidtas i enlighet med de anvisningar som framgår av det åtgärdsprogram som ingår i driftinstruktionens avsnitt om störd drift. För att höja beredskapen begäras räddningstjänstinsatser om förhållandena så kräver. Alla åtgärder inriktas på att förebygga skador på dammen som kan utvecklas till dammbrott och på att så snart som möjligt återställa driften till normala förhållanden.

5.3.2 Dammälgarens beredskapsplanering

[...]

Beredskapskrav [...]

Anläggningsspecifika krav kan bestå av förhållanden som är unika för en älvssträcka eller för en enskild anläggning. Exempel på sådana specifika krav kan vara vattnets stigningshastighet i olika situationer, risk för igen-sättning av utskov på grund av flytgods, negativa drifterfarenheter, byggnadstekniska svagheter, begränsningar i instrumentering och fjärrkontroll etc.

6.4 Underhåll

[...]

Checklista för dammbesiktning

[...]

BESIKTNING AV MEKANISK UTRUSTNING

UTSKOVSLUCKOR

Manövrerbarhet

Korrosionsskador

Mekaniska skador

Onormalt läckage

Isolering

Uppvärmning

Isfrihållning

Lager

Flytgods

Bilaga 2, Kap 6

Exempel på frågeställningar vid FDU

B. Avbördning

- Risk för igensättning av och skador på utskov p g a drivgods samt möjligheten att rensa utskov under pågående tappning

I Bilaga 3, kap 6 nämns drivgods i samband med beskrivning av felrapporteringsystemet.

7.4.3.1 För att avbördningssystemet skall fylla sin funktion måste krav ställas både på anordningarnas avbördningskapacitet och tillförlitlighet. Vid en utvärdering av kapacitet och tillförlitlighet skall förhållanden som kan misstänkas påverka avbördningssystemet beaktas. Exempel på sådana förhållanden kan vara:

- ...
- flödesbegränsning p.g.a. drivgods etc.
- ...
- andra förhållanden som reducerar avbördningskapaciteten, till exempel igensättningar uppströms eller nedströms i vattenvägarna

7.4.3.2 Erforderlig avbördningskapacitet

[...]

För den dammsäkerhetsmässiga värderingen av ett utskovs avbördningsförmåga tillkommer ytterligare en rad faktorer som påverkar ett utskovs verkliga avbördningskapacitet i ett visst givet läge. Dessa faktorer kan vara av både yttre och inre karaktär. Exempel på yttre faktorer är låg temperatur, stark vind, intensiv nederbörd, drivgods etc. Som exempel på inre faktorer kan nämnas avstängningsanordningar som kräver speciella

förberedelser för att manövreras, avstängningsanordningar som saknar reservdriftfunktion etc.

Beträffande drivgods hänvisas till punkt 7.4.4.1.7 under Gemensamt nedan.

7.4.4.1.7 Utformning med hänsyn till drivgods

Drivgods är ett problem för avbördningen eftersom igensättning av utskoven reducerar kapaciteten avsevärt, eller kanske helt och hållet. Förutom att drivgodset kan orsaka igensättning kan det genom mekanisk åverkan skada luckorna. Risken för störningar i avbördningssystemet genom olika typer av drivgods måste därför beaktas vid systemets utformning. Detta kan ske genom att förebygga uppkomsten av drivgods, komplettera systemet med anordningar för att ta hand om drivgodset eller utforma systemet för att säkerställa att drivgodset passerar dammen.

Förebygga uppkomsten av drivgods kan ske på flera sätt, där ett sätt är att reducera mängden drivgods som når utskoven. Detta sker antingen genom att ta bort potentiellt drivgods kring reservoaren, eller genom användandet av länsor särskilt dimensionerade för att ta hand om drivgods.

Metoden att ta hand om drivgods som redan fastnat på utskoven är mera osäker och erfarenheter visar att det snabbt kan uppstå besvärande mängder drivgods som inte kan tas omhand på ett säkert sätt. Särskilt bör beaktas att situationer med mycket drivgods sker i höglödessituationer, vilket gör att marginalerna är avsevärt mindre än normalt.

Att utforma utskoven så att de kan låta förekommande drivgods passera utan att fastna är ytterligare en metod. Nackdelen med detta är att passerat drivgods då skickas vidare till nästa anläggning, om sådan finns. Dimensionering av utskovens bredd och djup ska ta hänsyn till förväntad storlek hos drivgods, vilket ofta utgörs av träd. Vid uppgradering för höga flöden, där vattenytan tillåts stiga, bör risken för igensättning mot överliggande bro beaktas.

7.4.4.2.1 Förekommande lucktyper

Vid val av lucktyp till ett utskov måste man ta hänsyn till ett antal faktorer, såsom:

[...]

Mängden och formen på det drivgods som kan förväntas.

Nedan beskrivs de vanligaste typerna av utskovsluckor samt för- och nackdelar med dessa.

Segmentluckor

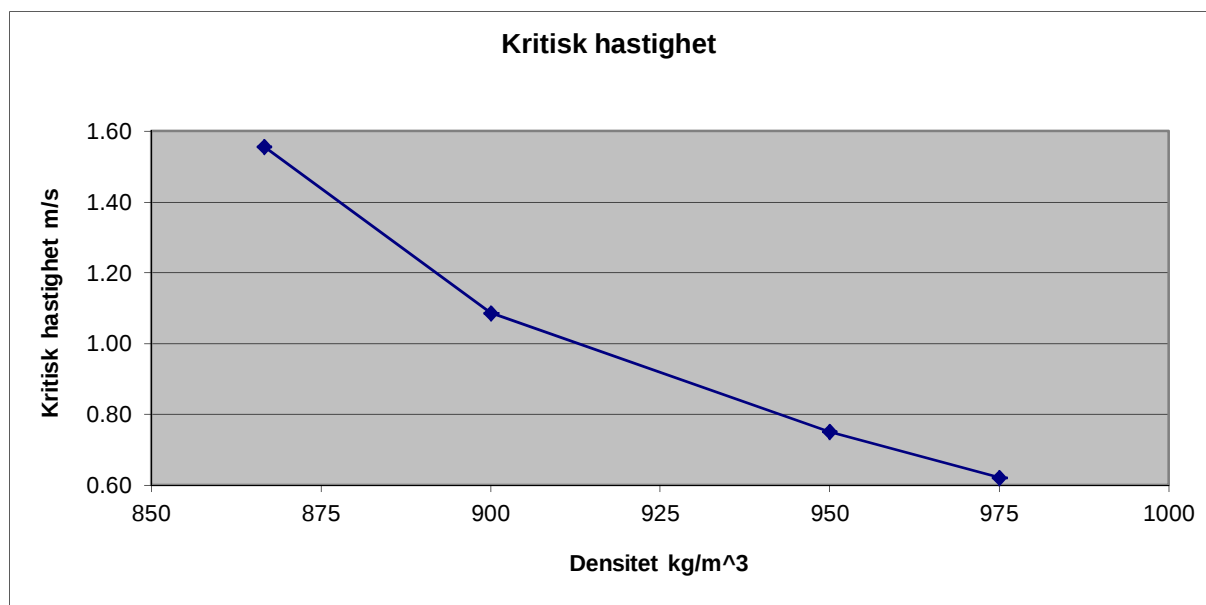
[...]

Konstruktionsråd:

Lucklagren bör placeras över vattenytan vid fullt öppen lucka. Detta för att undvika att flytgods kilar fast mellan betongvägg och luckbenen och på så sätt skadar luckben och lager.

7.4.4.11 System för vattennivåmätning

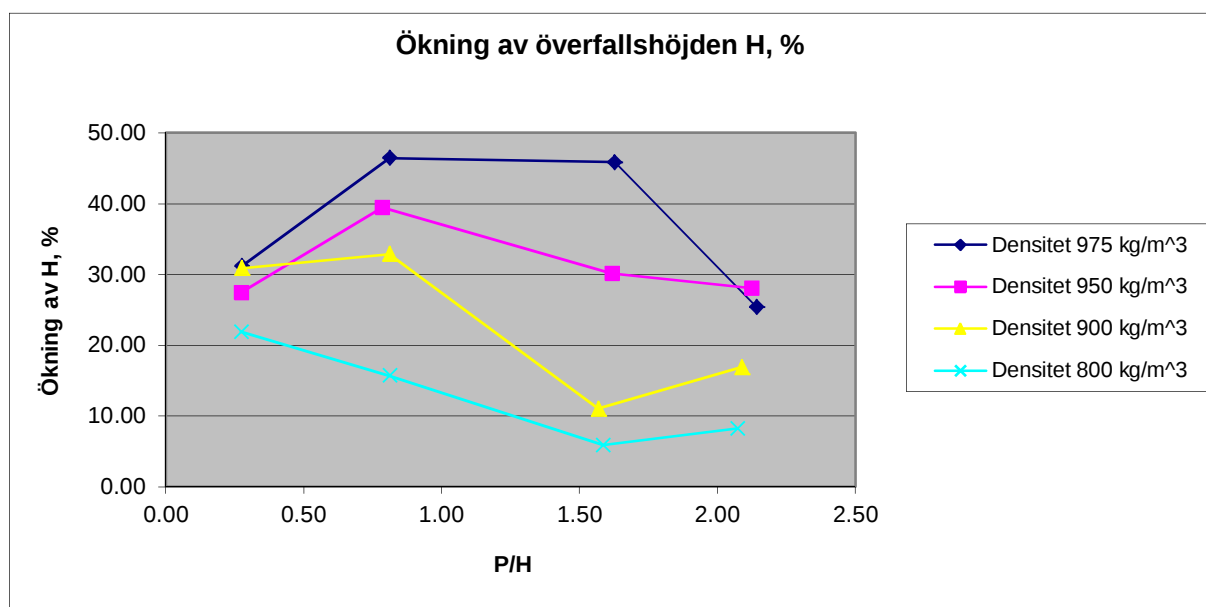
[...] Även risker för yttre påverkan, typ sabotage, drivgods, måste beaktas.



Figur 1. Kritisk hastighet i prototyp för ett träd med diametern 0.5 m.

Småträd av tall har den högsta densiteten, 900 till 1000 kg/m^3 medan mogen till överårig tall kan ha densitet mellan 800-600 kg/m^3 . För gran anges 10 till 15 % lägre densitet medan björk kan variera från 800 till 1090 kg/m^3 [ref].

Vid igensättning av utskovet så ökar uppströms vattenstånd. I Figur 2 visas ökningen för olika densitet och för olika djup uppströms utskovet. P är här djup under tröskel och H är överfallshöjden. Låg densitet är viktigast men det är ingen nackdel om det är djupt uppströms



Figur 2. Ökning av uppströms vattenstånd vid olika vattendjup P i förhållande till överfallshöjd H .



ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se