

METOD FÖR ANALYS OCH HANTERING AV DRIVGODS

RAPPORT 2017:446



Metod för analys och hantering av drivgods

**STINA ÅSTRAND
FREDRIK PERSSON**

ISBN 978-91-7673-446-9 | © ENERGIFORSK oktober 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Målet med projektet var att ta fram en arbetsgång och metod för att kunna analysera sårbarhet för drivgods för en dammanläggning och välja lämpliga åtgärder. Projektet har genomförts i tre steg. I bilaga 1 finns exempel på tillämpning.

Projektet ingick i Energiforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete med medverkan från vattenkraftföretagen och Svenska kraftnät.

Författarna ansvarar för rapportens innehåll.

Stockholm oktober 2017

Sara Sandberg

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Författarens förord

Arbetet med metodbeskrivningen har i huvudsak utförts av rapportförfattarna. Övriga deltagare i projektets genomförande har varit, Duncan McConnachie, WSP, Helge Hedenäs, WSP, Tina Pålstorp, ÅF, Andreas Rick, ÅF, Nils Johansson, WSP och Anna Risberg, WSP.

En referensgrupp har följt arbetet och under arbetets gång gett information och bidragit med värdefulla synpunkter. Referensgruppen har bestått av Cristian Andersson, Energiforsk, Helena Björkman, Fortum, Anna Engström Meyer, Svenska kraftnät, Joakim Evertsson, Vattenfall, Marcus Hautakoski, Vattenregleringsföretagen, Nils Isaksson, Svenska kraftnät, Martin Johansson, Skellefteå kraft, Uno Kuoljok, Sydkraft Hydropower, Linda Ormann, Fortum, Anders Sjödin, Statkraft, Rolf Steiner, Fortum, Peter Viklander, Vattenfall.

Sammanfattning

En metod har tagits fram som kan användas för att analysera och kategorisera dammanläggningar avseende sårbarhet för drivgods samt ge vägledning för prioritering och val av eventuell åtgärd. Den framtagna metoden består av bedömning av tre huvudmoment:

- *Förutsättningar för att drivgods ska uppkomma*
Träd och buskar, drivved, bäverdammar, sjunktimmer, flyttuvor, bryggor, båtar, övriga byggnader och ensilagebalar är olika typer av drivgods. De dominerande sätten för drivgods att hamna i vattnet är erosion, ras och skred, översvämning och höga flöden och vattenhastigheter som drar med sig föremål som redan finns i eller intill vattendraget.
- *Förutsättning för att drivgodset ska kunna transporteras till anläggningen*
Beror främst på vattenhastigheter.
- *Förutsättning för att drivgodset ska kunna fastna i utskovet och dras ned mot utskovströskeln* beror av utskovsbredder jämfört med trädlängder samt Froudes tal för snittet direkt uppströms utskoven.

Analys av förutsättningar kan göras av en person med god lokalkännedom och förståelse för drivgodsproblematiken, alternativt med stöd av olika fördjupade analyser.

Den sammanvägda bedömningen av en anläggnings sårbarhet för drivgods görs för olika flödesscenarier och innehåller tre nivåer; grön=liten sårbarhet, gul=viss sårbarhet och röd=stor sårbarhet.

För prioritering av åtgärder bör även sårbarhet för anläggningar uppströms och nedströms vägas in samt dammsäkerhetsklass, anläggningens betydelse för flödeshantering i älvsystemet, marginal i avbördningskapacitet, tillgång till bottenutskov, stighastighet och fribord.

Processen för val av åtgärd utgår från en beskrivning av alternativa åtgärder, under vilka förutsättningar de fungerar och vilken effekt de får. Då möjliga åtgärder identifierats görs en återkoppling till hur det påverkar sårbarheten, för anläggningen och älven. Detta kan behöva göras i flera omgångar innan det kan bli dags för genomförande.

Åtgärder kan vara beredskapsåtgärder, underhållsåtgärder eller fysiska, mer permanenta, byggåtgärder och rikta sig mot att förhindra uppkomst av drivgods, förhindra transport av drivgods eller förhindra igensättning och/eller dykning av drivgods.

Summary

A method has been developed that can be used to examine and categorize dam facilities for possible debris problems and form the basis for finding suitable means to handle debris. The developed method consists of evaluation of three main parts:

Pre-conditions for floating debris to occur.

Trees and shrubs, driftwood, beaver dams, sink timber, floating peat, boats, jetties and other constructions are the main types of potential debris. The identified dominating sources which can produce debris are erosion, landslides, flooding and high flows

Pre-conditions for how debris can be transported in the river.

Depends mainly on water velocities.

Pre-conditions for debris to get caught in the spillway opening and drawn down towards the threshold.

Depends on spillway opening widths compared to tree lengths and the Froude number in front of the spillway.

The evaluation can be performed by a person with good local knowledge and understanding of the questions related to debris. Alternatively more detailed analyses can be used, such as spatial analysis.

The vulnerability is evaluated for high and extreme flow and is ranked in three levels; green-low, yellow-medium, and red-high.

To prioritize the need for mitigation measures, other factors should also be considered such as dam safety class, the role of the facility for handling flows in the river system, margins in discharge capacity, the rate of water level rising in the reservoir and the freeboard.

The process for selecting mitigation measures is based on a description of the different options, under which conditions they function and what effect they have. When possible measures have been identified, they are assessed in relation to their effect on the vulnerability of the dam facility in question as well as the whole river. This may need to be repeated several times before the process can continue.

Mitigation means can be different actions for emergency preparedness, maintenance or constructive means. The aim of the measure can be to prevent the upcome of debris, prevent the transport or prevent the debris from to get caught and/or drawn down in front of the spillway.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Syfte och mål	9
1.2	Projektets genomförande	9
1.3	Rapportens struktur	10
2	Drivgods – kort kunskapssammanställning	11
2.1	Vad står i RIDAS om drivgods [1]?	11
2.2	Vilka riktlinjer finns kring drivgods i andra länder?	11
2.3	Hur uppkommer drivgods?	12
2.3.1	Erosion	12
2.3.2	Ras och skred	13
2.3.3	Branta biflöden	13
2.3.4	Översvämning	14
2.3.5	Drivgods som kan frisättas av höga flöden och vattenhastigheter	14
2.4	Hur transporteras drivgods?	14
2.5	Vad händer vid dammanläggningen?	15
2.5.1	Utskovsbredd	15
2.5.2	Froudes tal, hastighetsfält och vattenhastighet	15
2.5.3	Densitet	16
2.5.4	Djupet mellan vattenytan till tröskeln (överfallshöjd)	17
2.5.5	Utskovstyp	17
2.5.6	Lucktyp och luckläge	17
2.5.7	Brobanans läge ovan vattenytan	17
2.6	Vilka åtgärder kan användas mot drivgods?	17
2.6.1	Beredskapsåtgärder	18
2.6.2	Underhållsåtgärder	18
2.6.3	Fysisk åtgärd	19
3	Introduktion till framtagna metod för sårbarhetsanalys och åtgärdsanalys	24
3.1	Sammanställning underlag	24
3.2	Sårbarhetsanalys	24
3.3	Åtgärdsanalys	25
4	Sårbarhetsanalys drivgods	26
4.1	Metod	26
4.1.1	Flödesscenarier	27
4.2	Förutsättningar för att drivgods ska uppkomma	27
4.3	Förutsättning för transport	29
4.4	Förutsättning för igensättning och dykning	30
4.5	Sammanvägd bedömning av sårbarheten	31
4.5.1	Grafisk presentation av resultatet	32
4.6	Utvärdering av åtgärdsbehov	34

4.7	Exempel på fördjupade analyser	34
4.7.1	Källor till drivgods	34
4.7.2	Typer, mängder och storlekar på drivgodset	35
4.7.3	Transport	37
4.7.4	Dykningsfenomenet	38
5	Åtgärdsanalys	39
5.1	Metod	39
5.2	Steg 1 – Genomgång av möjlighet och lämplighet för olika åtgärder	40
5.3	Steg 2 – Värdering av åtgärdernas påverkan på sårbarheten för anläggningen	44
5.4	Steg 3 - Värdering av åtgärdernas påverkan på sårbarheten för ÄLVEN	46
6	Diskussion	49
6.1	Sårbarhetsanalys	49
6.1.1	Uppkomst av drivgods	49
6.1.2	Transport	49
6.1.3	Förutsättning för igensättning och dykning	50
6.2	Åtgärdsanalys	50
7	Rekommendationer	51
8	Referenser	52
Bilaga 1	Exempel på tillämpning för Ljungan och Skallböle	

1 Inledning

Denna rapport beskriver den metod för sårbarhetsanalys och hantering av drivgods vid dammanläggningar som tagits fram inom Energiforsksprojektet - Drivgods vid extrema tillfällen. Detta kapitel beskriver projektets bakgrund, syfte och mål.

Sverige har hitintills enbart haft små problem med drivgods men osäkerhet finns avseende vad som kan hända vid höga och extrema flöden. Inträffade händelser i bland annat Norge och Schweiz har lett till att flytande drivgods identifierats som ett möjligt hot mot dammsäkerheten även i Sverige. Därmed finns ett behov av att öka förståelsen för drivgodsproblematiken och hitta arbetssätt för att hantera den. I Sverige finns idag inget gemensamt förhållningssätt för analys och hantering av drivgods vid dammar vid extrema tillfällen.

I Energiforsks regi sammanställdes en nulägesanalys kring drivgods som publicerades 2011 [1] och som delvis sammanfattade ett internationellt projekt genomfört inom Dam Safety Interest Group (DSIG) [2, 3, 4, 5, 6]. Energiforsk har därefter initierat och finansierat detta projekt för att ta fram en arbetsgång och metoder som ska kunna tillämpas i dammsäkerhetsarbetet, för att avgöra sårbarheten för drivgods och vilka åtgärder som kan vara lämpliga för att minska riskerna med drivgods. Arbetet har utförts av en konsultgrupp och följts av en referensgrupp.

1.1 SYFTE OCH MÅL

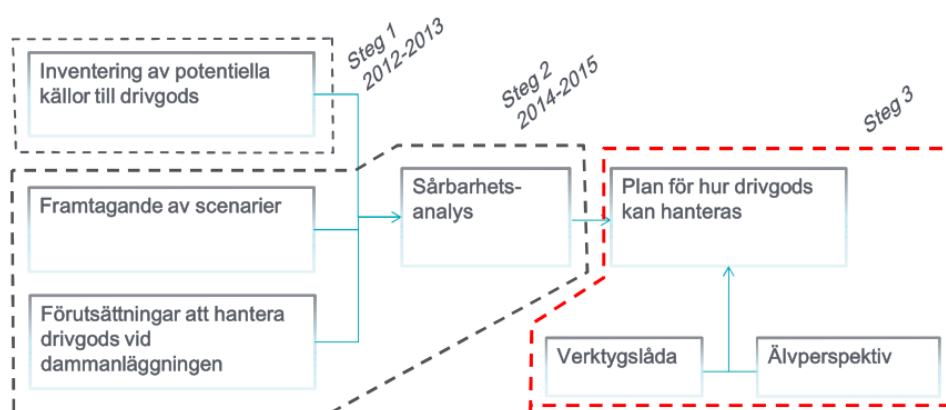
Syftet har varit att ge en bättre förståelse för drivgodsproblematiken och ge förslag på hur den kan hanteras. Målet har varit att ta fram en metod för att bedöma sårbarhet för drivgods för en dammanläggning, prioritera behov av åtgärd och välja lämplig åtgärd. Metoden ska kunna användas på samtliga svenska dammanläggningar och vattendrag och täcka in alla typer av potentiellt drivgods. Projektets strävan har främst varit att ta fram en metod som kan genomföras snabbt på en översiktlig nivå men även att ge vägledning till hur mer detaljerad analys kan utföras.

1.2 PROJEKTETS GENOMFÖRANDE

Projektet har genomförts i olika steg, se figur 1:

- STEG 1 – Fenomen som skapar drivgods
 - Framtagande av metod fram för inventering av potentiellt drivgods
 - Inventering av erfarenheter av drivgods hos svenska dammägare
- STEG 2 – Sårbarhetsanalys
 - Fördjupning kring olika scenarier med drivgodsproduktion

- Framtagande av metod för att bedöma förutsättning att hantera drivgods vid en anläggning
- STEG 3 – Åtgärder
 - Verktyslåda för åtgärder
 - Stöd för prioritering av behov av åtgärd utifrån sårbarhet och älvperspektiv
 - Framtagande av metod för val av lämplig åtgärd



Figur 1 Beskrivning av de olika momenten i projektet.

1.3 RAPPORTENS STRUKTUR

Rapporten är upplagd så att kapitel 1 beskriver projektets syfte, mål och bakgrund. Kapitel 2 redogör för kunskapsläget gällande drivgods och kan läsas som en introduktion till drivgodsproblematiken. I kapitel 3 beskrivs övergripande hur den framtagna metoden för sårbarhetsanalys och åtgärdsanalys är tänkt att användas. Kapitel 4 beskriver metoden för sårbarhetsanalys på ett översiktligt sätt samt ger exempel på fördjupningar. Kapitel 5 ger en vägledning till hur åtgärd kan väljas och kapitel 7 och 8 innehåller diskussion respektive rekommendationer. I bilaga 1 redovisas exempel på tillämpning av metoden.

2 Drivgods – kort kunskapssammanställning

Detta kapitel ger en översiktlig beskrivning av kunskapsläget kring drivgodsproblematikens olika delar; varför drivgods uppkommer, hur det transporteras, vad som händer vid dammanläggningen och vilka åtgärder som kan användas.

2.1 VAD STÅR I RIDAS OM DRIVGODS [1]?

Drivgods beskrivs i RIDAS som ett potentiellt problem för avbördningen eftersom igensättning av utskoven reducerar kapaciteten. 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. RIDAS anger att ett säkert avbördningssystem ska ha tillräcklig kapacitet med hänsyn 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 eller utforma systemet för att säkerställa att drivgodset passerar dammen.

Mängden, storleken och formen på det drivgods som kan förväntas ska beaktas vid val av lucktyp, dimensionering av utskovens bredd och djup, samt nivå på överliggande bro. Det nämns dock att nackdelen med att utforma utskoven så att de kan låta förekommande drivgods passera är att passerat drivgods då skickas vidare till nästa anläggning, om sådan finns.

Att ta hand om drivgods som fastnat på utskoven beskrivs som en mer osäker metod då erfarenheter visar att det snabbt kan uppstå besvärande mängder som inte kan tas om hand på ett säkert sätt.

2.2 VILKA RIKTLINJER FINNS KRING DRIVGODS I ANDRA LÄNDER?

I nulägesbeskrivningen av drivgodshantering vid extrema flöden [1] redovisas norska och kanadensiska riktlinjer för hantering av drivgods kort. Det är värt att nämna att det i Norge finns krav på att räkna med en igensättning på minst 25 % vid beräkning av avbördningskapacitet och dämningarnivå för det aktuella magasinet där det finns risk för igensättning. Igensättning av drivgods kombineras där med 1000-årsflöde och inte med klass I-flöde.

I de kanadensiska riktlinjerna för dammsäkerhet finns betänkanden gällande drivgods rörande avbördningskapacitet, magasin och miljö. 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. 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 genom att rensa bort eller hindra drivgodset från att nå dammanläggningen nämns som den primära åtgärden.

I Schweiz tas under hösten 2016 fram en vägledning för hur man skall arbeta med drivgods, delar av den kommer också att ingå i nya riktlinjer. I material från deras arbete [7] sammanfattas kort riktlinjer och praxis från Schweiz, Frankrike, Italien, Österrike och Tyskland. Det som är gemensamt för dem är att de tittar på ett förhållande mellan utskovsbredd och avstånd från utskovströskel till överliggande brobana.

I Frankrike ska utskoven vara minst 15 m på nivåer upp till 600 m över havet och 4 m på nivåer 1800 meter över havet. I Schweiz rekommenderas att utskovsbredd ska vara större än 0,8 gånger högsta trädlängd och avstånd till överliggande brobana 0,15-0,2 gånger trädlängden. Träd i alpområden tillåts inte bli högre än tio meter.

Det redogörs vidare för att det i Österrike inte finns några generella riktlinjer man att utskov med mindre bredd än 20 m bedöms ha sårbarhet för igensättning, men att utskov med 15 m breda utskov utan överbyggnader ofta ses som acceptabla.

2.3 HUR UPPKOMMER DRIVGODS?

För att drivgods ska kunna uppkomma behöver två förutsättningar uppfyllas;

- Det ska finnas potentiellt drivgods – "föremål" i uppströmsområdet
- Det ska finnas någon anledning (källa) till att föremålen hamnar i vattnet eller att sådant som redan finns i vattendraget frisätts

En inventering av drivgodserfarenheter, som genomförts inom projektet, hos svenska dammägare har visat att det finns väldigt lite som rör drivgodsproblematik dokumenterat. Det finns ett antal anläggningar som har återkommande problem med drivgods, främst i form av flyttuvor. Det finns också fall där drivgods uppkommit i samband med överdämning av magasin men också fall där det trots längre perioder av överdämning och höga flöden inte uppkommit något drivgods.

I Sverige ses träd och buskar, drivved, bäverdammar, sjunktimmer, flyttuvor, bryggor, båtar, övriga byggnader och ensilagebalar som huvudtyper av potentiellt drivgods. De dominerande källorna till drivgodsproduktion bedöms kunna vara branta biflöden, erosion, ras och skred, översvämning och höga flöden och vattenhastigheter som frisätter, drar med sig föremål som redan finns i eller intill vattendraget. En översiktlig beskrivning av processerna följer.

2.3.1 Erosion

Erosion av stränder kan göra att träd hamnar i vattnet, det kan också leda till underminering av slänter med ras och skred som följd. Förutsättning för erosion finns främst om man har erosionskänsliga jordarter längs en älvsträcka. Ofta kan detta observeras som en pågående process på de ställen det är aktuellt. Mer om processen för erosion och sedimenttransport i vattendrag har beskrivits bland annat av SGU [8] och SGI [9].

2.3.2 Ras och skred

Skred och ras kan föra ut både växande och döda träd i vattnet. Jordskred i ler- och siltområden inträffar vanligen under högsta kustlinjen (HK) och i anslutning till vattendrag, sjöar och kustlinjer. Huvuddelen av landets lerskred har inträffat inom Västra Götalands län, Värmlands län, Östergötlands län och Västernorrlands län.

Jordras är vanliga där vattendrag skurit sig ned i sandlager. Utmed vattendragen i mellersta och norra Sverige inträffar många ras i slänter som består av sand- och siltjord. De rasbranter som då bildas kallas nipor.

Ras kan även inträffa i branta slänter i grus- och sandavlagringar och i branta slänter med blockrik och/eller grovkornig morän.

När jorden är vattenmättad efter en nederbördsrik period eller i samband med snösmältning kan skred uppstå i branta moränslänter. I Sverige är moränskred vanligast i fjällterräng, men kan även uppstå i branta slänter i morän i andra delar av landet.

Grundläggande beskrivning av olika typer av skred och ras finns på SGUs [8], SGIs [9] och MSBs hemsidor [10]. Tidigare inträffade ras och skred i området kan ge information om möjlig omfattning av framtida skred, information finns bland annat på SGU:s hemsida [8].

Ytliga ras i de övre delarna av slänterna innebär oftast att växtligheten stannar i slutningen. Träd och buskar fastnar mot träd längre ner i slutningen. Vid ett större ras åker hela slänten ut i älven. Risken är då större att träden driver ut i älven. För ett djupt, skålformat, skred "tippar" ofta markytan bakåt vilket skulle kunna tala för att träden blir kvar i slänten.

Vid ras eller skred som faller ut i älven har djupet i älven en stor betydelse för transport av massorna. Vid en djup älvfåra kommer större delen av massorna att relativt snabbt eroderas bort. Vid grunda älvfåror blir det en uppdämning som kan innebära en ändring i älvfåran, vilket i nästa skede även innebär nya erosionsområden.

2.3.3 Branta biflöden

Raviner bildas vanligen långsamt under årtal, genom att växa bakåt och följa dräneringsvägar eller underjordiska grundvattenflöden. Raviner kan dock även utvecklas snabbt till exempel genom yterrosion av intensiva regn och skred i ravinslutningarna.

I branta biflöden och raviner kan intensiv nederbörd och erosion leda till ras och skred som transporterar såväl jord som buskar och träd till botten av vattendraget. Höga flöden kan sätta massorna i rörelse, en så kallad slamström, som tar med sig "ytligt" material, som sten, block och träd i en accelererande process längs sin väg.

I branta biflöden bedöms förutsättningar finnas för att större mängder drivgods skall uppkomma. Lokal extrem nederbörd kan i ett mindre vattendrag ge en kraftig ökning av flödet i och snabb erosion i branta slänter vilket kan underminera trädens rotsystem. Träd och jordmassor kan bilda brötar som fastnar i tränga

passager och när trycket från vattnet uppströms blivit tillräckligt stort lossnar bröten och en "dammbrottsvåg" uppkommer som kan svepa med sig ytterligare träd.

2.3.4 Översvämning

Föremål i översvämningssområden kan bli drivgods om översvämningssdjup och hastigheter är tillräckliga för att de ska börja flyta iväg. Det kan handla om byggnader, fordon, material i upplag, ensilagebalar med mera.

En potentiellt stor källa till drivgods i översvämningssområden har bedömts vara vindfällda träd. Detta är ett hypotetiskt fall, det har inte återfunnits några dokumenterade händelser där enbart träd i översvämningssområden gett större produktion av drivgods. Däremot kan det förekomma träd som vindfälls direkt ner i vattendraget.

En sammanställning av erfarenheter av stormskador i Europa [11] konstaterar att stormskadornas omfattning och skogsbeståndens sårbarhet beror på ett komplext samspel mellan de meteorologiska förhållandena och faktorer så som höjd och ålder, topografi, och trädslag. Stormkänslig skog är traditionellt fröträdställningar, hyggeskanter och nygallrade bestånd. Lövträd och tallar och har ofta mer djupgående rötter än granar och välter därför inte lika lätt. Information om stormar som medfört en stor mängd fällda träd i Sverige finns hos SMHI [12] och Skogsstyrelsen [13].

2.3.5 Drivgods som kan frisättas av höga flöden och vattenhastigheter

Höga flöden och vattenhastigheter kan frisätta drivved, sjunktimmer, bäverdammar, båtar, bryggor och andra föremål som finns redan i vattendraget. I torrfåror kan stora mängder drivgods ackumuleras mellan de tillfällen då utskoven används.

Flyttuvor av torv kan uppkomma i samband med höga flöden. Flyttuvorna består av myr som lossnar från stränderna alternativt överdämd mark eller myr som flyter upp till ytan under årens lopp. Flyttuvor uppträder generellt när dämningen tas upp eller på våren vid islossningen men kan också förekomma senare på sommaren. Flyttuvor kan vara stora, uppemot en hektar i yta [6].

2.4 HUR TRANSPORTERAS DRIVGODS?

För att drivgodset som hamnat i vattnet skall kunna leda till problem vid en dammanläggning måste det också kunna transporteras från "källan" till anläggningen. För älvsträckor bedöms större mängder drivgods kunna transporteras med vattenströmning. För större sjöar och magasin krävs vinddriven transport och mängden drivgods som kan transporteras ned mot anläggningen beror då av magasinets form och orientering i förhållande till vindriktning.

Trånga sektioner, broar och vägtrummor kan stoppa upp drivgods i vattenvägen, tillfälligt eller permanent och därmed hindra det från att nå dammanläggningen.

Ansamlad drivgods som sedan frisläpps kan dock utgöra ett potentiellt sett större problem än att drivgodset kommer fram eftersom.

När drivgodset närmar sig dammanläggningen får hantering av utskov och intag vid givet flöde störst betydelse för var drivgodset hamnar.

2.5 VAD HÄNDER VID DAMMANLÄGGNINGEN?

Faktorer som påverkar vad som händer med drivgods vid utskoven vid en dammanläggning har studerats i flera projekt de senaste 15 åren [2, 14], då med fokus på träd. De faktorer som visat sig ha betydelse är bland annat utskovens bredd, typ av utskov, överfallshöjd över utskovströskeln, luckans läge och typ, hastighetsfält och vattenhastighet närmast utskovet. Hastighetsfält och vattenhastighet har även beskrivits i en annan parameter, nämligen Froudes tal. Nedan beskrivs respektive parameter översiktligt.

2.5.1 Utskovsbredd

Modellförsök har visat att sannolikheten är 0 % att ett enstaka träd fastar om trädets längd är lika med eller mindre än utskovets bredd. Om träden kommer fram ett och ett till ett enskilt ytutskov är sannolikheten för passage stor även för träd med en längd under 1,5 till 2 gånger utskovets bredd [2]. Om träden kommer två eller flera tillsammans minskar sannolikheten för passage, även om trädslängden är mindre eller lika med utskovets bredd. Med ökande trädslängd i förhållande till utskovets bredd ökar snabbt sannolikheten för att även enstaka träd ska fastna i utskovet [2].

Med flera utskovsöppningar bredvid varandra blir strömningsmönstret mer komplicerat, träden "rätar inte upp sig" på samma sätt och sannolikheten för passage minskar för träd som är längre än utskovsbredden. Om ett träd fastnar kommer även samtliga efterkommande träd att fastna och samlas uppströms utskoven. Den kritiska frågan blir då hur stor igensättning det kan bli.

Det visar sig att även om sannolikheten är låg för att ett träd ska fastna i ett utskov så behövs bara att ett enda träd fastnat för att efterföljande träd ska fastna och bygga en bröt i utskovet och, om det finns tillräckligt mycket drivgods, ge en betydande reduktion av avbördningskapaciteten [2].

Drivgodsets uppträdande som enskilda träd eller som brötar antas ha samband med produktionen. Om träden kommer tätt inpå varandra och om älven är smal är sannolikheten större att de kommer i kontakt med varandra och bildar brötar,

Enligt schweiziska erfarenheter bryts träden sönder i mindre bitar när drivgodset transporteras i vattendraget och majoriteten av drivgodset blir mindre än 5 m långa. Även trädtoppen och grenarna bryts av [1].

2.5.2 Froudes tal, hastighetsfält och vattenhastighet

Det som har betydelse för igensättning av utskov med drivgods är huruvida träden ligger och flyter i en gles matta på ytan eller dras ned mot tröskeln och sätter igen det. Tillgängliga forskningsstudier från bland andra tekniska

universitetet i München, TUM, har visat att det idag finns tillgängliga samband mellan drivgodsets beteende och Froudes tal.

Då resultaten från samtliga modellförsök har kombinerats [14] har det kunna konstateras att de fysiska parametrar som blir avgörande för trädens beteende är trädens densitet samt Froudes tal, Fr , i läget där träden fastnat:

- $Fr = \frac{v}{\sqrt{g x H}}$ v = medelhastigheten H =medeldjupet
- $Fr < 0,15$ ger att det bildas en gles matta av träd
- $Fr > 0,30$ ger att drivgodset har större benägenhet att dras ned mot utskovströskeln och öka igensättningen.
- $Fr 0,15-0,30$ osäkert område där densiteten på träden är direkt avgörande
- Trädens densitet ligger för dessa värden på Fr mellan 800 kg/m^3 och 975 kg/m^3 .

Figur 2 visar de två olika typerna av beteende hos drivgodset beroende av Froudetalet.



Figur 2 Framtagande av Fr i modellförsök (Till vänster: igensättning ytmatta samt till höger: igensättning dykning)

2.5.3 Densitet

Träddensiteten beror av trädart, trädets ålder och årstid men framförallt av tiden i vattnet. Ju längre träden ligger i vattnet ju mer ökar risken för att de ska dras ned. Nedan anges densitet för olika trädslag.

- Gran – $800-900 \text{ kg/m}^3$
- Tall – $800-900 \text{ kg/m}^3$
- Björk – $875-1000 \text{ kg/m}^3$

Tester har visat att obarkade tallstockar efter ca 5 månader i vatten i princip har uppnått gränsen för flytbarhet vid 940 kg/m^3 . Björkens rådensitet är högre än hos gran och tall, vilket innebär att mindre utrymme för vattenmättnad finns innan trädet tappar sin flytbarhet [15].

2.5.4 Djupet mellan vattenytan till tröskeln (överfallshöjd)

Djupet mellan vattenytan och tröskeln kommer få en avgörande effekt, beroende på volym drivgods och vattenhastighet. Stora djup har inte kontrollerats forskningsmässigt, men det kan konstateras att om ythastigheten inte påverkas i den omfattningen att träd dras ner ökar inte igensättningen. Kompetenshöjning krävs i framtiden för denna parameter.

2.5.5 Utskovstyp

Utskovstypen är en väsentlig parameter att värdera. Ytutskov har en annan påverkan på möjlig igensättning än bottenutskov. Bottenutskov är gynnsamma om de är placerade på ett djup som inte påverkar ythastigheten nämnvärt [16]. Då kan en drivgodsmatta skapas.

Ett ensamt ytutskov har större sannolikhet att låta träd passera än om flera ytutskov ligger intill varandra [2]. Detta kan förklaras med att vid ett ensamt ytutskov kommer accelerationen mot ytutskovet att vrida trädet i strömriktningen, denna effekt är betydligt mindre när flera ytutskov ligger intill varandra.

2.5.6 Lucktyp och luckläge

Lucktyper har olika egenskaper att minska sårbarheten för igensättning. Sektorluckor och överfallsutskov kan möjliggöra förbiledning över utskovsluckan/skibordet, medan segmentluckor kan skapa drivgodsmatta i magasinet genom låg påverkan på ythastigheten då luckan är delvis öppen.

Underkant på utskovsluckor kan ligga lägre än 1,7 m över uppströms vattenstånd 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.

2.5.7 Brobanans läge ovan vattenytan

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.

2.6 VILKA ÅTGÄRDER KAN ANVÄNDAS MOT DRIVGODS?

Åtgärder kan rikta sig mot att

- Förhindra uppkomst av drivgods
- Förhindra transport av drivgods
- Förhindra igensättning och/eller dykning av drivgods

Här presenteras ett urval åtgärder utifrån om de kan ses som beredskapsåtgärder, underhållsåtgärder eller fysiska, mer permanenta, byggåtgärder.

2.6.1 Beredskapsåtgärder

I ett dammsäkerhetsperspektiv skall åtgärden tydligt beskrivas i en beredskapsplan eller handlingsplan. Planen skall verkställas vid angiven tidpunkt beroende av avgivna parametrar.

Förbildning

Planerad avbördning av drivgods genom avbördningsanordning eller förbiledningspassage.

Utskovsreglering

Hantering av avbördning på ett kontrollerat sätt, där utskovsluckorna öppnas synkroniserat för att minska påverkan på ökad ytvattenhastighet. Om hastighetsfältets epicentrum begränsas djupare ner i magasinet skapas gynnsamma förhållanden att hålla drivgodset i magasinet på ytan. Begränsning av fenomenet dykande drivgods sker. Åtgärden begränsas till en given nivå i lucköppning.

Avsänkning magasin

Om en betydande källa till drivgods är översvämmade områden kan en åtgärd för att minska uppkomst av drivgods vara att sänka av magasinet.

Planerad användning av maskiner

Förberedande planering för att tillhandahålla maskiner för kort respektive lång sikt. Planeringen består av att kontraktera underhåll eller upprätta eget. Maskinernas art bestäms av de avhjälpande åtgärder som skall vidtas. Därtill skall uppställningsplaner, axelvikter etc. värderas och bedömas innan val av maskinpark hanteras.

2.6.2 Underhållsåtgärder

Underhållsåtgärder är en form av en förebyggande åtgärd.

Avskogning

Förebyggande avverkning av träd i utsatt terräng eller inom påverkat område. Bedömning sker avseende; branta biflöde, ras- och skredkänsliga områden samt överdämning av större områden.

Vid "vanlig" avverkning enligt dagens metoder lämnas generellt en kantzon mot vattendrag. Dessa kantzoner bör i det fallet göras så breda som möjligt för att minska risken för stormfällning.

Rensning magasin

Förebyggande resning och eventuell förankring av drivgods. Kartläggning, rensning och underhåll sker avseende; flyttuvor, ensilagebalar, nedfallna träd, brötar etc.

Stabilisering slänter, erosionsskydd

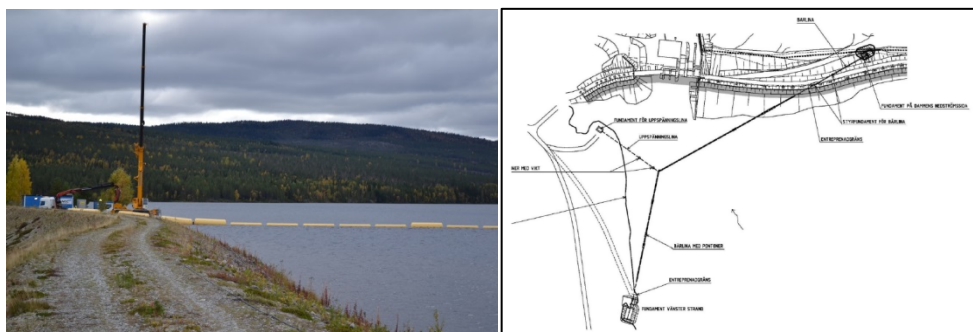
Förebyggande arbete består i att identifiera och utföra förstärkningar av skred- och raskänsliga slänter samt erosionskänsliga områden där det finns mycket potentiellt drivgods. Det kan också innebära att försöka kontrollera de faktorer som kan utlösa skred i slänterna, såsom till exempel mänsklig påverkan. Det kan vara aktuellt med åtgärder av VA- och dagvattenledningar som mynnar raskänsliga slänter, restriktioner för vägar, skogsbruk och bebyggelse.

2.6.3 Fysisk åtgärd

Fysiska åtgärder består framförallt av tre nyckelområden; stödkonstruktioner, förbättrad drivgodshantering eller ombyggnad. Respektive område kan delas in i underkategorier. De fysiska åtgärderna kan appliceras både i anläggningen så som i magasinet.

Stödkonstruktioner

Läns är vanligtvis flytande kedjor av stockar eller pontoner säkrade ände till ände som är avsedda att avleda eller hålla skräp. I många fall är stockarna anslutna ände mot ände, vilket innebär att om en kedja bryts upphör hela strukturen att fungera. Länsen placeras i magasinet där ytvattenhastigheten är begränsad så dykning av drivgods elimineras. Resultatet bli skapandet av ytmatta uppströms läns, se Figur 3.



Figur 3 Bild av Halvfari drivgodsläns [17] och ritning av den samma från Halvfari HPP [18].

Nät har historiskt ofta implementerats vertikala som åtgärd för både drivgods samt fiskefrämjande åtgärder. Nät kan implementeras både från pontoner så som i fasta konstruktioner. Resultatet bli skapandet av ytmatta uppströms nätet. Se Figur 4.



Figur 4 Nät – Till vänster vertikalt implementerat nät på balkar i Granö HPP, Sverige, samt till höger hängnät implementerat på pontoner i Kisenyama HPP, Japan [19].

Vertikalt visir (retention booms) är designad för att hålla drivgodset uppströms där ytvattenhastigheten är begränsad för att eliminera att drivgodset dyker och täpper igen utskoven. Syftet är detsamma som för läns där ytmatta skapas uppströms. Skillnaden är att visirets vertikala balkar också kan rikta enstaka träd för förbiledning, se Figur 5.



Figur 5 Vertikalt visir - Retention booms [14].

Snedställt visir är på samma sätt designad för att hålla drivgodset uppströms där ytvattenhastigheten är begränsad för att eliminera att drivgodset dyker och täpper igen utskoven. Syftet är detsamma som för vertikalt visir där ytmatta skapas uppströms, se Figur 6.



Figur 6 Snedställt visir [14].

Förbättrad drivgodshantering

Drivgodsfällor, tvärströmmar, skapas i magasinet genom avledning, lagring och rensning av fällan i underhållssyfte. Drivgodsfällan bör optimeras utifrån angiven mängd drivgods, last och hastigheten för rensning av fällan, se Figur 7.



Figur 7 Frazier river drivgodsfälla (tvärström) utnyttjar kurvan åt vänster som för över drivgodset [1].

Drivgodsfällor för biflöden skapas främst genom nätkonstruktioner eller pelarkonstruktioner i förband. Fällan lagrar drivgodset från biflödet och rensning av fällan krävs i underhållssyfte. Drivgodsfällan bör optimeras utifrån angiven mängd drivgods och drivgodslast, se Figur 8.



Figur 8 Till vänster i figuren en fälla i form av nät vid mynningen av mindre tillflöde, Österrike 2007 [1]. Till höger ses Seilnetzsperre över Geschiebesperre (Kranzbach, Oberbayern, Foto: Asenkerschbaumer) [14].

Desarmera konstruktionsdetaljer kan vara ett annat sätt att möjliggöra att drivgods inte fastnar eller blir hängande så att mindre brötar sätts igen som följdverkan. I en avbördningsanordning skapas bäst förutsättningar när denna är ren och utan störande element. I flera fall har det kunnat visa sig att konstruktionselement från byggnationstiden återfunnits under vattenytan. Vid ombyggnation är dessa viktiga att eliminera och ta bort så att bra förutsättningar skapas både för drivgods så som för avbördning [20].

Kantstolpar eller kantkonstruktioner fungerar som styrande element och kan implementeras att fungera som vinkelförändring för drivgodset. I exempel i Figur 9 visas en implementation av halvvö som bryter hastighetsfältet och skapar en virvelström som vinklar in drivgodset mot utskov nr1. Drivgodset förbi leds

därefter till nedanförliggande anläggning eller fångas upp om drivgodsfälla implementeras nedströms utskovet.



Figur 9 Modellförsök av implementation av kantkonstruktion [14].

Ombyggnad

Ombyggnation genom breddning av utskov kan fungera för planerad avbördning av drivgods genom avbördningsanordning. Utskovet bör optimeras utifrån magasinets trädlängder. Ett exempel ges nedan i Figur 10 från Hammarforsen där ett av utskoven innehar en större tilltagen bredd.



Figur 10 Hammarforsen, brett utskov.

Genom att öka avbördningsförmågan och därmed minska den överdämning som erfordras för att avbörda höga flöden minskar också området för drivgodsproduktion.

Höjning broar och brobanor kan möjliggöra att enstaka brötar och drivgods fastnar och påverkar ankommande drivgods så att igensättning sker. Riktvärde har i flertalet modellförsök angetts för optimal höjd ovan vattennivån, men måste för varje enskild anläggning optimeras [14].

Ökning av höjden på utskov och luckor kan skapa gynnsamma förhållanden i kombination med hanterande åtgärd. En ökad höjd ned till tröskeln genererar också ett lägre Froudetal, vilket också är gynnsamt i att förhindra dykning [20].

Deflektorer fungerar istället som styrande element och består till exempel av vertikala balkar som optimeras för att möjliggöra förbipassage genom befintliga utskov [14].



Figur 11 Modellförsök av implementation av deflektorer för Baierbrunn regleringsdamm [14].

Bottenutskov har en positiv påverkan på ythastigheten. Om hastighetsfältets epicentrum begränsas djupare ner i magasinet skapas gynnsamma förhållanden att hålla drivgodset i magasinet på ytan. Begränsning av fenomenet dykande drivgods sker.



Figur 12 Bottenutskov i Ramsel dam placerade till vänster om ytutskov nr 1 i strömningsriktningen.

3 Introduktion till framtagna metod för sårbarhetsanalys och åtgärdsanalys

I detta kapitel beskrivs inledande den framtagna metodens olika delar och hur de är tänkta att användas.

Metoden som tagits fram är tänkt att vara ett systematiskt angreppssätt att användas av dammägare för att analysera sårbarhet för drivgods för dammanläggningar samt analysera val av eventuella lämpliga åtgärder. Figur 2 visar den övergripande arbetsgången.



Figur 13 Metod för hantering av drivgodsproblematik.

3.1 SAMMANSTÄLLNING UNDERLAG

Ett första steg i metoden föreslås vara att se över och samla ihop det underlag som kommer att användas i analyserna. De uppgifter som kan behövas i första hand är:

- Topografiskt underlag
- Jordartskartor
- Förekommande trädhöjder
- Karta över vattendraget
- Dimensionerande flöden
- Dammens utskov, bredd, tröskelnivå
- Avbördningskapacitet vid olika nivåer

Lämpligt underlag kan till exempel vara dammregistret och *Sammanställning av dimensionerande flöden*. Tabell över ståndortsindex (trädhöjd för 100 år gamla träd) i olika delar av Sverige kan användas [13] för att bedöma förekommande trädhöjder. Hos SLU [21] finns en hel del data på träd tillgängligt både som GIS-underlag och sammanställt i rapporter. SGI har tillsammans med SGU, MSB, SMHI och Lantmäteriet tagit fram en webbaserad kartvisningstjänst för ras, skred och erosion där samtliga relevanta kartunderlag finns samlade tillsammans med en vägledning som beskriver hur underlagen kan användas och tolkas [22]. Som beskrivs i kapitel 4 kan god lokalkännedom och platsbesök i viss mån vara ett alternativ till delar av det föreslagna underlaget.

3.2 SÅRBARHETANALYS

Sårbarhetsanalysen beskrivs i kapitel 4. Den genomförs som ett första steg för att få en bild av sårbarheter för en eller flera anläggningar innan åtgärdsanalys påbörjas.

Sårbarhetsanalysen kan med fördel göras samlat för ett större antal anläggningar med fördel samordnat för ett helt vattendrag. Den kan också göras för en enskild anläggning i samband med FDU, dammsäkerhetsutredning etc.

För sårbarhetsanalysen beskrivs först en översiktlig metod som ger en översiktlig bild. Den översiktliga metoden baseras både på antaganden och beräkningar. Metoden utgår från analyser på anläggningsnivå som sedan i vissa delar kopplas ihop och analyseras på älvnivå. Resultatet kan även analyseras och presenteras som en första genomgång och rangordning av sårbarhet för flertalet anläggningar.

För de ingående momenten i sårbarhetsanalysen finns även exempel på fördjupningar. Det går bra att ta stöd i de metoder som beskrivs fördjupat redan då den översiktliga analysen genomförs. Det kan göras för vissa eller samtliga moment.

Fördjupningar är också tänkt som ett andra steg i sårbarhetsanalysen för anläggningar som med den mer översiktliga analysen bedömts ha hög sårbarhet och vara prioriterade för åtgärd. Den syftar till att öka förståelsen och eventuellt omvärdera sårbarhetsbedömningen men kan även vara en utgångspunkt för analys av lämpliga åtgärder samt ge underlag för dimensionering av eventuell åtgärd.

3.3 ÅTGÄRDSANALYS

Processen för val av åtgärd beskrivs i kapitel 5 utifrån en beskrivning av alternativa åtgärder, under vilka förutsättningar de fungerar och vilken effekt de får. Då möjliga åtgärder identifierats görs en återkoppling till hur det påverkar sårbarheten, för anläggningen och älven. Detta kan behöva göras i flera omgångar innan det kan bli dags för genomförande.

4 Sårbarhetsanalys drivgods

Detta kapitel beskriver metoden för sårbarhetsanalys och de moment som ingår. Metoden baseras på både antaganden och beräkningar. Den kan genomföras som ett första steg för att få en översiktlig bild av sårbarheter för en eller flera anläggningar innan åtgärdsanalys påbörjas.

4.1 METOD

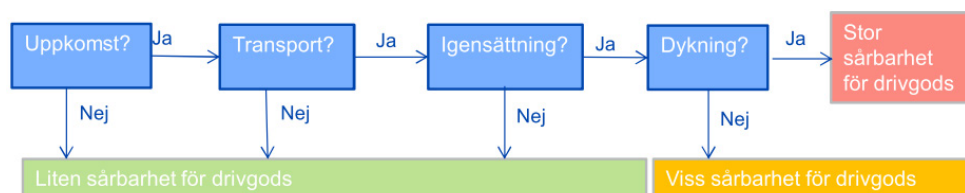
Metoden består av bedömning av tre huvudmoment;

- Förutsättning för att drivgods ska uppkomma
- Förutsättning för att drivgodset ska kunna transporteras till anläggningen
- Förutsättning för att drivgodset ska kunna fastna i utskovet-igensättning och dras ned mot utskovströskeln- dykning

Figur 14 visar huvudmomenten i metoden för sårbarhetsanalys. Alla steg går genom och dokumenteras, i enlighet med beskrivning i kapitel 4.2 - 4.4. Beskrivningen skall ses som ett stöd för hur bedömning kan göras och inte som exakta gränser.

Därefter görs bedömningen av om anläggningen har:

- Stor sårbarhet för drivgods –röd
- Viss sårbarhet för drivgods –gul
- Liten sårbarhet för drivgods –grön



Figur 14 Flödesschema för analys av sårbarhet för drivgods för en dammanläggning.

Bedömningen görs av en person med god lokalkännedom och förståelse för drivgodsproblematiken, alternativt med stöd av olika fördjupade analyser, som beskrivs i kapitel 4.7.

Analys av sårbarhet utgår från samma principer oavsett om den görs för en anläggning eller flera. I analysen, som den beskrivs här, finns inte drivgods från anläggning uppströms beaktad. Detta hanteras senare i den sammanvägda bedömningen. Det bör därför poängteras att även om analysen görs enbart för en anläggning bör älvperspektivet beaktas.

4.1.1 Flödesscenarier

Förutsättningarna för uppkomst av drivgods, transport samt igensättning och dykning skiljer sig mellan olika flöden. I den översiktliga analysen bedöms i första hand höga flöden, förslagsvis 100-årsflöde och klass I-flöde. I ett senare skede, vid en fördjupad analys rekommenderas att bedömningen även görs för normala flöden.

4.2 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ATT DRIVGODS SKA UPPKOMMA

Sårbarhetsanalysen utgår från vilka källor till drivgods som finns, men kräver ingen inventering av mängder och längder på drivgodset. Följande frågor skall besvaras:

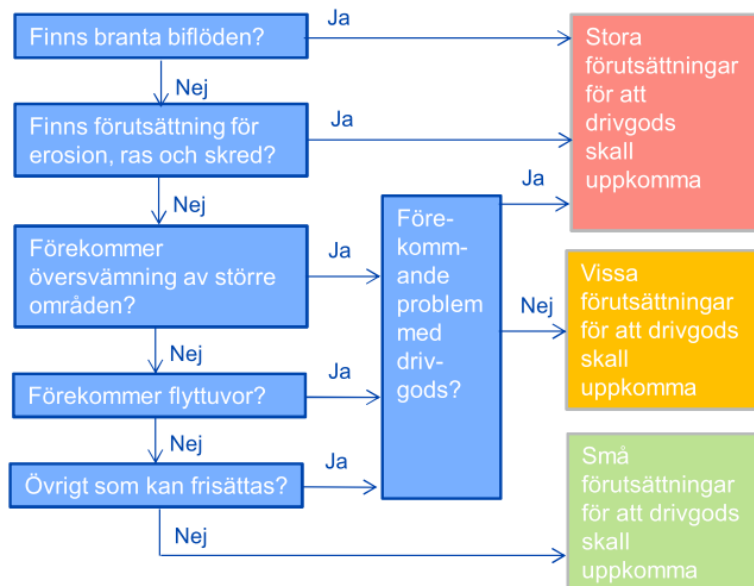
- Finns branta biflöden?
- Finns områden med förutsättningar för erosion, ras och skred?
- Förekommer större översvämningssområden?
- Finns drivgods som kan frisättas av höga flöden?

Genomgången dokumenteras i tabellform. I den översiktliga analysen anges i den enklaste formen ja eller nej, se exempel i Tabell 1. Bedömningen görs separat för 100-årsflöde och klass I-flöde.

För varje flödessituation analyseras hur yttre faktorer påverkar de olika källorna till drivgods. Vid normalflöde kan enstaka drivgods från erosion och vindfällan, bäverfällan och liknande förekomma. Jordskred och släntras kan uppkomma men det bedöms inte sannolikt med multipla skred. Branta biflöden bör beaktas särskilt då ett lokalt störtregn skulle kunna ge stor drivgodsproduktion i ett biflöde utan att flödet i huvudfåran är högt. Extrem nederbörd skulle också kunna ge exempelvis ras och en samtidig flödestopp lokalt i huvudfåran. Översvämning och frisättning av övriga typer av drivgods bör förekomma inte större mängder, undantaget flyttuvor.

Vid höga flöden bedöms kombinerade effekter av yttre faktorer kunna utlösa drivgodsproduktion från många olika källor. Översvämningssområden och vattenhastigheter är dock generellt mindre vid 100-årsflöde än klass I-flöde.

Då samtliga källor har bedömts görs en sammanvägd värdering av förutsättningar för att drivgods skall uppkomma enligt Figur 15. Resultatet visas i Tabell 1. Som synes i figuren kan analysen avbrytas då en källa identifierats. Det rekommenderas dock att så många som möjligt av kategorierna redovisas för att inte problembilden skall misstolkas i ett senare skede.



Figur 15 Flödesschema för bedömning av förutsättning för uppkomst av drivgods.

Om förutsättningar för erosion, ras och skred finns inom större områden intill magasin eller i biflöden föreslås bedömningen för drivgods sättas till *röd-stora förutsättningar för att drivgods skall uppkomma*.

Om översvämning av större områden förekommer föreslås bedömningen för drivgods sättas till *gul-vissa förutsättningar för att drivgods skall förekomma*, om detta är den "värsta" källan, enligt figur 4. Om flyttuvor förekommer föreslås bedömningen för drivgods sättas till gul eller röd om detta är den "värsta" källan. Om större mängder löst material eller liknande finns i eller intill vattendraget och bedöms kunna frisättas föreslås bedömningen för drivgods sättas till gul om detta är den "värsta" källan.

För ett magasin med mycket flacka stränder, utan branta biflöden och i princip ingen överdämning, låga vattenhastigheter och inga andra större källor till drivgods såsom flyttuvor, sjunktimmer eller annat föreslås bedömning sättas till *grön- små förutsättningar för att drivgods skall uppkomma*.

Om anläggningen har eller har haft problem med drivgods bör detta vägas in i sårbarhetsbedömningen enligt Figur 15.

Tabell 1 Sammanställning av olika källor till drivgods och bedömning av förutsättning för uppkomst av drivgods vid ett flödesscenario.

	Biflöde	Erosion	Ras och skred	Översvämning	Höga flöden	Problem	Bedömning uppkomst
Anl 1	nej	nej	nej	ja	ja	nej	vissa
Anl 2	nej	nej	nej	ja	ja	ja	stora
Anl 3	nej	ja	ja	ja	ja	nej	stora
Anl 4	ja	nej	nej	ja	ja	nej	vissa

4.3 FÖRUTSÄTTNING FÖR TRANSPORT

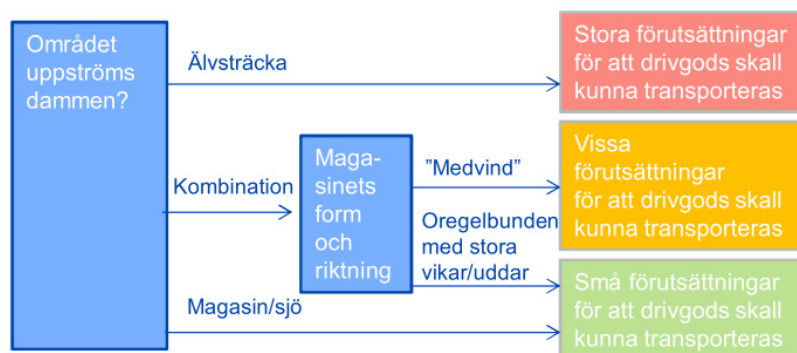
Förutsättningar för att drivgods skall kunna transporteras från "källan" till dammanläggningen beror i första hand av vattenhastigheter på sträckan. För att bedöma detta skall följande frågor besvaras:

- Är området uppströms dammanläggningen älvsträcka, sjö eller magasin eller en kombination?
- Om det är en kombination- är magasinets form och riktning sådan att vind skulle kunna transportera drivgodset fram mot anläggningen eller är det oregelbunden form med vikar och uddar där drivgodset kan fastna eller fördröjas?

Genomgången dokumenteras i tabellform. I den översiktliga analysen anges i den enklaste formen ja eller nej, se exempel i Tabell 2. Bedömningen görs för både 100-årsflöde och klass I-flöde. Då samtliga källor har bedömts görs en sammanvägd värdering av förutsättningar för att drivgods skall kunna transporteras enligt Figur 16.

Tabell 2 Bedömning av förutsättning för transport av drivgods utifrån olika faktorer.

	Magasin	Magasin "i vind- riktning"	Oregelbunden form på magasin, vikar	Älvsträcka	Bedömning transport
Anl1	ja	nej	ja	nej	små
Anl2	ja	ja	nej	ja	vissa
Anl3	nej	-	-	ja	stora



Figur 16 Flödesschema för bedömning av förutsättning för transport av drivgods.

Om uppströmsområdet består till en majoritet av älvsträcka inklusive området närmast uppströms dammen föreslås bedömningen för transport sättas till *röd-stora förutsättningar för att drivgods ska kunna transporteras*. Om det består av ungefär lika delar magasin och älv och men vind kan transportera drivgods över på delar av sträckan föreslås bedömningen för transport sättas till *gul-vissa förutsättningar för att drivgods skall uppkomma*. För stora magasin med mycket oregelbunden form och vikar bedöms transport ske i mindre utsträckning och med lång fördröjning och bedömningen för transport föreslås sättas till *grön- små förutsättningar för att drivgods ska kunna transporteras*.

En annan del som kan bli viktig för bedömningen av transport är förekomst av eventuella trånga sektioner, broar och vägtrummor som kan stoppa upp drivgods i vattenvägen, tillfälligt eller permanent och därmed hindra det från att nå dammanläggningen. Ansamlad drivgods som sedan frisläpps kan dock utgöra ett potentiellt sett större problem än att drivgodset kommer fram allt eftersom. Eftersom denna bedömning kräver mer fördjupad analys kan den göras först i ett senare steg, därav visas den inte i Figur 16.

4.4 FÖRUTSÄTTNING FÖR IGENSÄTTNING OCH DYKNING

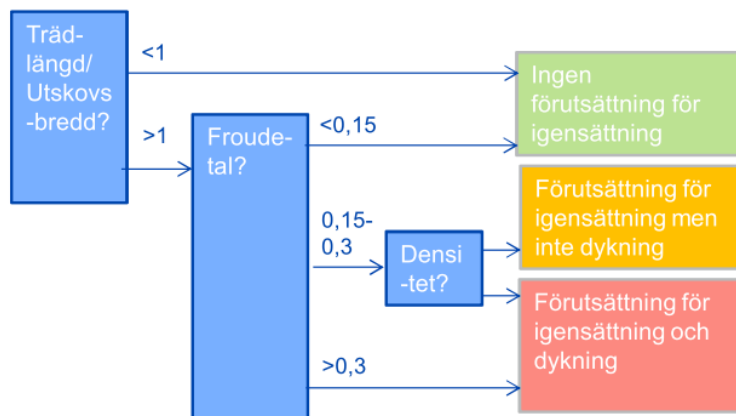
För att bedöma om det finns förutsättning för igensättning av drivgods respektive dykning av drivgods skall följande frågor besvaras:

- Finns risk för igensättning?
 - Beräkna L/B
L -längd på förväntat drivgods (gäller främst träd)
B -bredd utskov (smalaste av de som används vid den givna flödessituationen)
- Finns risk för dykning (av träd) ?
 - Beräkna av Froudes tal för snittet direkt uppströms utskoven
 - $Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot x \cdot H}}$
v = medelhastigheten (flödet / arean på tvärsnittet i de öppna utskoven)
H=medeldjupet (avståndet mellan vattenytan och utskovströskeln)
 - Ett annat alternativ kan vara att under kontrollerade former, till exempel vid en provtappning, testa hur träden beter sig.

Om analysen utförs för en hel älv kan den utgå från sammanställning av flöden (motsvarande *Sammanställning av dimensionerande flöden*) som kompletteras med dimensioner (bredd och tröskelnivå) för utskoven. Analysen består av enklare beräkningar och resultatet föreslås dokumenteras i tabellform, se exempel i Tabell 3. Beräkning och bedömning görs för både 100-årsflöde och klass I-flöde.

Som en första skattning av förekommande trädhöjder kan tabell över ståndortsindex (trädhöjd för 100 år gamla träd) i olika delar av Sverige användas [ref]. Lokala variationer kan förekomma. Indata för förekommande trädlängder i uppströmsområdet kan tas fram på olika sätt, till exempel genom fältinventering eller GIS-analys som beskrivs som fördjupad analys. Hos SLU finns en hel del data på träd tillgängligt både som GIS-underlag och sammanställt i rapporter.

Förutsättningar för igensättning och dykning av drivgods bedöms med stöd av Figur 17. För andra typer av drivgods än träd bedöms risken för igensättning på samma sätt som beskrivs i figuren, genom att jämföra drivgodsets dimensioner med utskovets. Bedömning av huruvida det kan dras ned eller blockera görs däremot från fall till fall beroende av typ av drivgods.



Figur 17 Flödesschema för bedömning av förutsättning för igensättning och dykning av drivgods

Om förutsättning finns för både igensättning ($L > B$) och dykning ($Fr > 0,3$) föreslås bedömningen sättas till *röd*. Vid detta fall kan total igensättning genereras och avbörningskapaciteten därigenom utbli. Om förutsättning finns för igensättning ($L > B$) och $Fr = 0,15-0,3$ finns ett mindre entydigt samband mellan densitet och Froudetal och därför bör även densitet bedömas. Sambandet är dock inte helt klart utan kräver fördjupad analys. Bedömning förslår då sättas till *gul*.

Om förutsättningar finns för igensättning men anläggningen beräknas vara kapabel till att avbörda under drivgodset som ligger samlat på ytan, det vill säga utan dykning föreslås bedömningen sättas till *grön*. Samma sak där ingen igensättning bedöms uppkomma ($L < B$).

Tabell 3 Bedömning av förutsättning för igensättning och dykning.

	Igensättning (L/B)	Dykning (Fr)	Densitet	Bedömning igensättning och dykning
Anl1	3	0,09	-	Igensättning
Anl2	2,5	0,16	?	Igensättning + ev. dykning (0,15 < Fr < 0,3)
Anl3	1,7	0,45	-	Igensättning + dykning (Fr > 0,3)

4.5 SAMMANVÄGD BEDÖMNING AV SÅRBARHETEN

Den sammanvägda bedömningen av en anläggnings sårbarhet för drivgods innehåller tre nivåer; *grön*=liten sårbarhet, *gul*=viss sårbarhet och *röd*=stor sårbarhet. Värderingen är inte en absolut skala utan snarare ett relativt mått för att rangordna olika anläggningar.

Tabell 4 visar hur den sammanvägda bedömningen görs för olika kombinationer av bedömda sårbarheter för de ingående huvudmomenten. Sammanvägd bedömning görs separat för 100-årsflöde och klass I-flöde.

Tabell 4 Resultat av sårbarhetsanalys för en given flödessituation för flera anläggningar.

Anl	Faktor	Drivgods	Transport	Igensättning och dykning	Sammanvägd sårbarhet
1		Ras och skred	Älvsträcka	$L/B=2,3$ $Fr=0,35$	Stor
2		Ras och skred	Kombination	$L/B=1,5$ $Fr=0,47$	viss
3		Översvämning	Kombination	$L/B=1,9$ $Fr=0,31$	viss
4		Biflöden	Älvsträcka	$L/B=0,7$ $Fr=0,35$	liten
5		Översvämning Övrigt	Magasin	$L/B=1,2$ $Fr=0,42$	liten

Om någon av de ingående delarna är grön, det vill säga ingen sårbarhet bedöms finnas för drivgods och/eller transport och/eller igensättning och dykning föreslås den sammanlagda sårbarheten för en enskild anläggning vid det givna flödet sättas till *grön*.

Om de ingående delarna är röda eller gula, med minst en gul föreslås den sammanlagda sårbarheten för en enskild anläggning vid det givna flödet sättas till *gul*.

Om samtliga ingående delar är röda sätts den sammanlagda sårbarheten till *röd*.

Det innebär att hög sårbarhet föreslås för anläggningar med kombinationen av branta biflöden och/eller förutsättning för erosion, ras och skred som potentiell källa till drivgods, huvudsakligen älvsträcka med förutsättning för transport med vattenströmning och förutsättning för igensättning och dykning vid det givna flödet.

I de fall det enbart finns andra källor till drivgods, kombination av älvsträcka och magasin eller begränsande faktorer för transport, och/eller enbart förutsättning för igensättning men inte dykning föreslås medelhög sårbarhet.

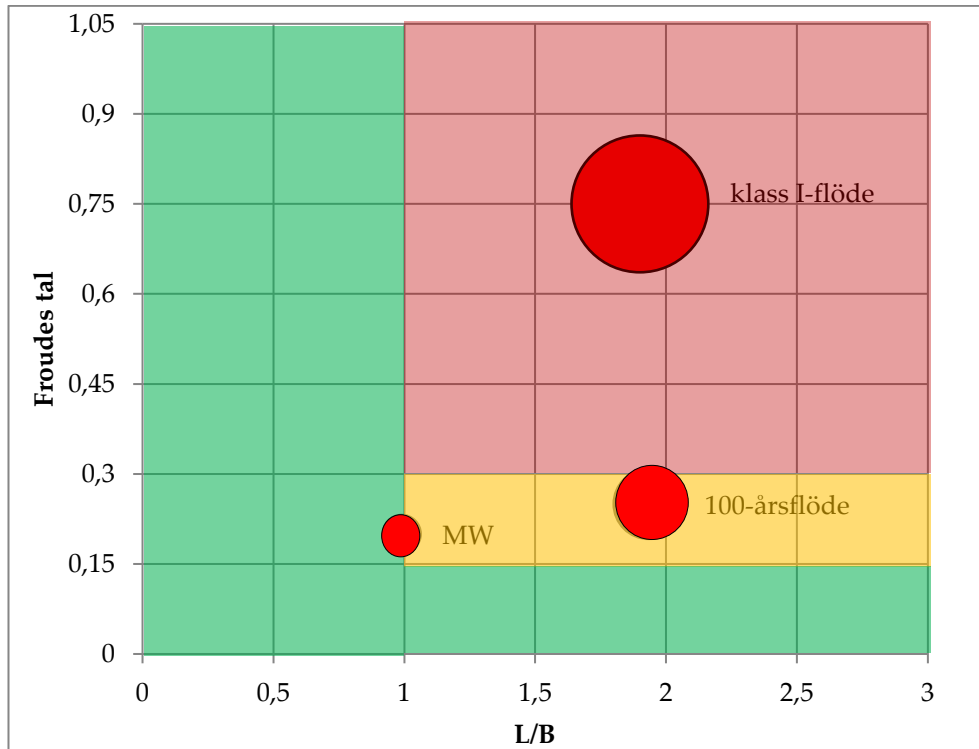
OBS! Om en anläggning bedöms få låg sårbarhet på grund av att inga förutsättningar bedöms finnas för uppkomst av drivgods inom området från uppströmsliggande anläggning måste, som ett sista steg, kontrolleras anläggningen ovan-kan den avbörda det givna flödet, är den sårbar för drivgods eller kan den förväntas släppa förbi drivgods ($L < B$) och skicka eventuellt drivgods vidare?

Ett exempel på beräkningar och bedömningar av sårbarhet utförda för samtliga anläggningar i Ljungan visas i Bilaga 1.

4.5.1 Grafisk presentation av resultatet

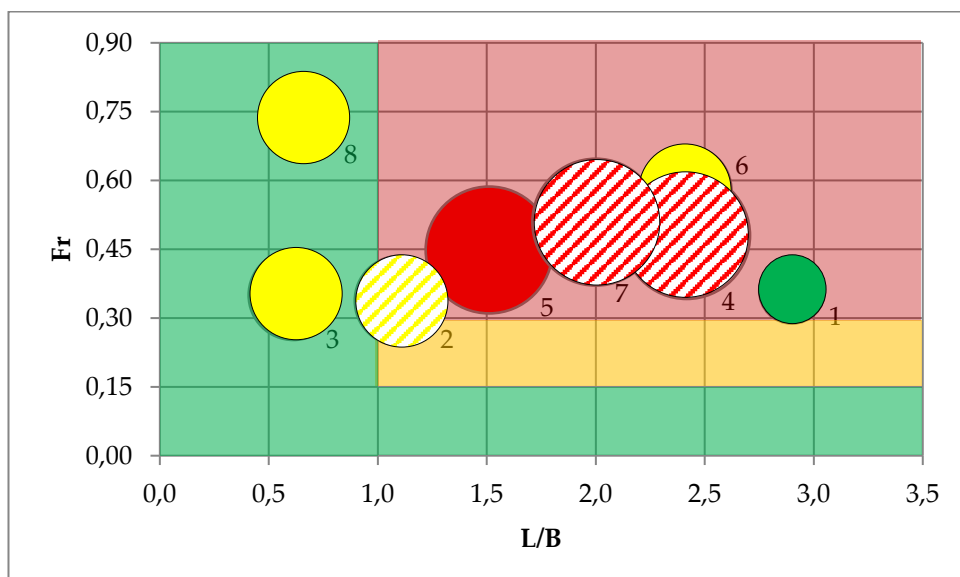
Resultatet av analysen kan också åskådliggöras grafiskt. Figur 18 visar utfallet för en anläggning vid olika flöden. Y-axeln visar beräknat Froudes tal och x-axeln motsvarande L/B . De olika färgade fälten visar de olika sårbarheterna, grön, gul och röd, för igensättning och dykning. Cirkelns storlek visar sårbarheten för transport. Mycket liten cirkel innebär enbart magasin och stor cirkel

huvudsakligen älvsträcka med höga vattenhastigheter. Slutligen visar cirkeln färg sårbarheten för drivgods.



Figur 18 Exempel på grafisk sammanställning av sårbarhetsanalysen.

Figur 19 visar motsvarande figur för ett flertal anläggningar vid ett flöde. Den typen av sammanställning kan användas för att få en överblick och särskilja anläggningarna i olika kategorier.



Figur 19. Exempel på grafisk sammanställning av inventering för ett antal anläggningar vid ett givet flöde. Trädlängd/utskovsbred (x-axeln) Froudetal framför utskoven (y-axeln) kombineras till risk för igensättning ($L/B > 1$) och $Fr > 0,3$. Dessutom vägs in storlek på cirkel utifrån transport, färg utifrån källa till drivgods skraffering beroende på dammsäkerhetsklass, B=hel, C=skrafferad.

Ett annat alternativ är att ta fram ett diagram med anläggningarna ordnade us/ns för att kunna jämföra med omkringliggande anläggningar på x-axeln.

4.6 UTVÄRDERING AV ÅTGÄRDSBEHOV

Den sammanvägda sårbarhetsbedömningen används för att kunna välja ut de anläggningar som ska prioriteras för åtgärder. För att kunna prioritera ytterligare mellan anläggningar för eventuella framtida åtgärder behöver eventuellt fler faktorer vägas in.

Förutom sårbarheten för drivgods för den enskilda anläggningen bör sårbarhet för anläggningen uppströms och nedströms vägas in. Dammsäkerhetsklass och flödesdimensioneringsklass anses vara de viktigaste delarna i prioriteringen. Anläggningens betydelse för dämpning och flödeshantering i älvsystemet bör också vägas in. För i övrigt likvärdigt värderade anläggningar kan även marginal i avbördningskapacitet, tillgång till bottenutskov, stighastighet och fribord jämföras, se förslag på detta i exemplet för Ljungan i Bilaga 1.

Att en anläggning är grön behöver inte betyda att den inte behöver åtgärd, då hänsyn skall tas till anläggningar uppströms och nedströms.

4.7 EXEMPEL PÅ FÖRDJUPADE ANALYSER

Fördjupade analyser kan genomföras dels för att öka förståelsen de olika momenten i sårbarhetsanalysen och eventuellt omvärdera bedömningen och dels att ta fram det underlag som behövs för åtgärdsanalysen.

Som nämns i kapitel 3 beskrivs den detaljerade analysen kopplad till samma moment som den översiktliga och det går därför bra att ta stöd i de metoder som beskrivs nedan redan då den översiktliga analysen genomförs.

4.7.1 Källor till drivgods

Här beskrivs hur källor till drivgods och potentiella mängder kan inventeras. Här beskrivs hur metoden görs med hjälp av vertyg i ArcGIS men den kan också utföras utifrån kartstudier. Platsbesök rekommenderas för att komplettera den bild som GIS-analysen gett. Analysen utgår från terrängmodell, jordartskarta och i förekommande fall beräknade vattenhastigheter och vattenutbredningsskikt.

Erosion

Förekomst av erosionskänsliga jordarter (sand, silt, fyllning, isälvsmaterial) kan analyseras utifrån jordartskarta. För större vattendrag finns karteringar utförda upp till högsta kustlinjen [22].

Från de hydrauliska beräkningarna i beredskapsplaneringsunderlaget kan vattenhastigheter vid olika flödesscenarier tas fram. Beräknade vattenhastigheter vid olika scenarier kan därefter jämföras med gränshastigheten för erosion för de förekommande materialen [23]. Detta kan ge en indikation på vilka områden som är extra utsatta och om det till exempel finns skyddade vikar.

Ras och skred

Jordarter och terrängförhållanden kombineras för att undersöka om det finns förutsättningar för initialscred:

- Förekommer slänter med lutningar >10% i finkorniga jordar(lera/silt) [24]?
- Förekommer slänter med lutningar >30% i morän och grövre jordar(sand/grus) [25]?

Resultatet visas som områden i kartan. En begränsning bör göras för att sälla ut de områden som kan falla ut i vattendraget, huvudfåran eller biflöden. SGI har karterat skredförutsättningar i finkorniga jordar utifrån nya nationella höjdmodellen. Detta underlag kan laddas ned eller studeras i en kartvisare [22].

Översvänningsområden

I genomförda översvänningsanalyser inom beredskapsplaneringsprojekt [26] eller översiktliga översvänningskarteringar [9] finns vattenutbredningsskikt för olika flöden.

Övriga typer av drivgods

Geografisk information kan finnas i viss mån, till exempel för båtklubbar och sågverk, värmeverk och likande verksamheter som kan ha stora upplag av material. I övrigt rekommenderas studier av ortofoton alternativt platsbesök. Förekomst av torv kan studeras med hjälp av jordartskartan.

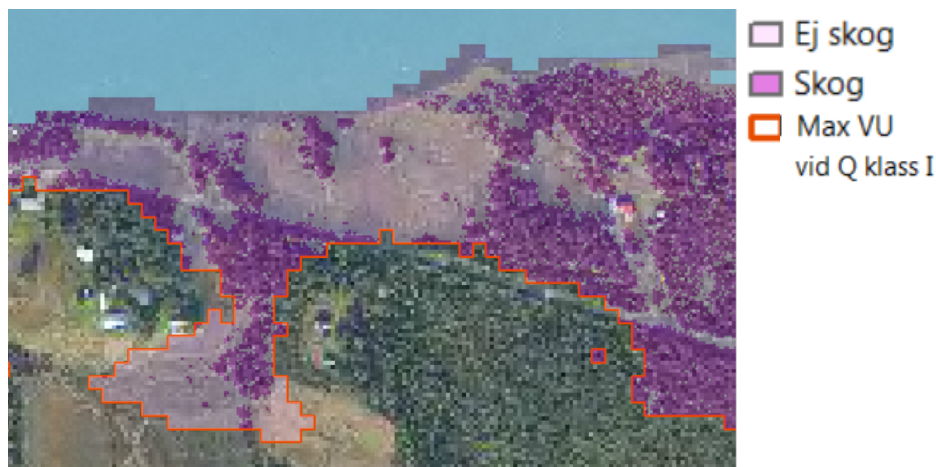
4.7.2 Typer, mängder och storlekar på drivgodset

För att studera förekomsten av träd inom identifierade riskområden kan olika angreppssätt och underlag användas. Information om skogsbestånd kan fås från SLU, Skogsstyrelsen, lokala markägare eller genom fältinventering. Det finns också möjligheter att beräkna antal/volym träd och trädhöjder utifrån laserskannade data.

Volym eller antal träd, trädhöjder med mera kan tas fram och knytas till de områden med källor till drivgods som tagits fram enligt ovan.

Area skog

En första uppdelning av riskområden kan göras utifrån om de är bevuxna med skog eller inte. Skogsbevuxen area kan även användas för att bedöma omfattning på åtgärd avskogning. Analys av laserdata har visat sig ge en väl överensstämmande bild av förekomst av träd. Områden utan skog kan då innehålla både öppen mark men även hyggen. På samma sätt får man även med träd som ligger inom bebyggda områden och på fält. Figur 20 visar resultatet av analysen av skog/ej skog inom översvänningsområdet för klass I-flöde uppströms Parteboda i Ljungan.

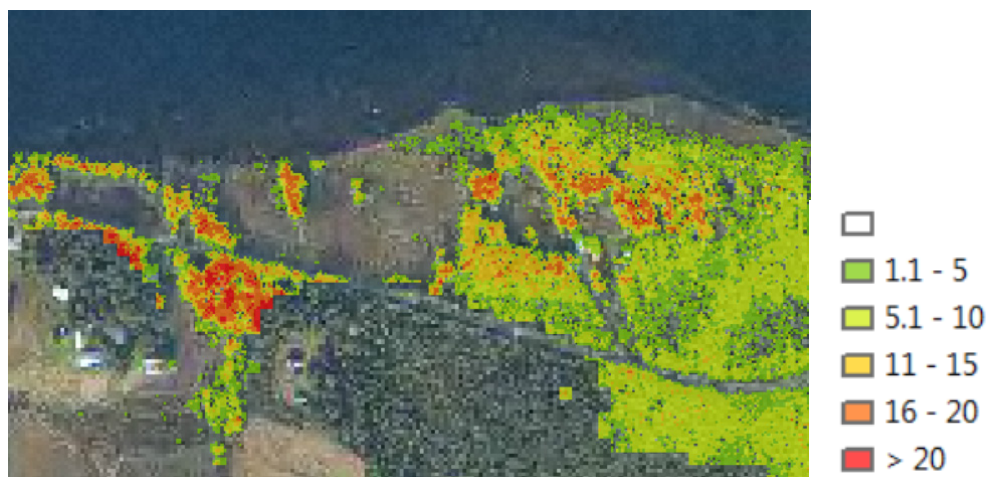


Figur 20 Uppdelning i skog och ej skog i översvämningsområdet för klass I-flöde uppströms Parteboda.

Information om utförda och anmälda avverkningar finns att hämta från Skogsstyrelsen. Hyggen är intressanta inte enbart med hänsyn till förekomsten av träd utan också på grund av att de förändringar som sker i samband med avverkningen kan påverka områdets stabilitet på olika sätt. Hyggen i anslutning till stränder har dessutom ofta extra vindutsatta kantzoner av sparade träd.

Trädhöjder

Förekommande trädhöjder är intressant, framförallt kopplat till möjlighet till passage genom utskov. Trädhöjder kan analyseras utifrån laserdata. Figur 21 visar förekommande trädhöjder inom översvämningsområdet för klass I-flöde uppströms Parteboda.



Figur 21 Trädhöjder i översvämningsområdet för klass I-flöde uppströms Parteboda.

Liknande underlag har även tagits fram utifrån NNH-data (ny nationell höjdmodell, laserdata) [13]. Uppgifter om trädhöjder finns även i data från SLU [21] där höjder anges som medel inom rutor på 25x25 m. Det underlaget är inte lika detaljerat som det som kan tas fram utifrån laserdatat.

Ålder

I underlag från SLU finns uppgifter om skogsbeståndets ålder. Äldre bestånd av träd är oftare känsliga för vind. Trädens ålder sammanfaller oftast med trädhöjderna.

Trädslag

Kunskap om trädslag kan vara relevant för att bedöma densitet.

Volym och antal träd

Med hjälp av laserdata kan volymen träd och antalet träd inom olika riskområden för drivgodsproduktion beräknas. Känslighetsanalyser har visat att upplösningen på terrängmodellen spelar stor roll för beräkningen av antalet träd och resultatet ska därför ses som ett ungefärligt och kanske snarare relativt mått på antalet träd. Uppgifter om volym finns även i data från SLU och skogsstyrelsen [13, 21].

Det finns ett antal formler för beräkning av potentiell drivgodsmängd. De baseras antingen på parameterar så som avrinningsområdets storlek och totala volymen träd eller på statistik från tidigare inträffade händelser [1, 7]. De är ofta framtagna och kalibrerade utifrån lokala förhållanden. Det bedöms ändå att dessa metoder kan ge en storleksordning för jämförelse.

4.7.3 Transport

En mer detaljerad analys av förutsättningar för transport kan göras i den geografiska analysen genom att knyta respektive område med källa till produktion av drivgods till möjligheten att transporteras.

När drivgodset närmar sig dammanläggningen får hantering av utskov och intag vid givet flöde störst betydelse för var drivgodset hamnar. Även lokala strömningsbilder och ursprunglig strömfåra kan ha betydelse.

Vattenströmning

Om produktionsområdet ligger vid en älvsträcka kan det förekomma vattenhastigheter som är tillräckliga för att transportera drivgods till utskoven. Som beskrivits i kapitel 4.7.1 kan resultaten från de hydrauliska beräkningarna användas för att analysera vattenhastigheter vid olika flöden.

Beräknade avstånd och vattenhastigheter kan användas för att beräkna transporttider för eventuellt drivgods från olika delområden i området uppströms en anläggning. Detta kan i sin tur användas för att bedöma hur trädens densitet påverkas av tiden i vattnet.

För produktionsområden intill magasin och sjöar kan beräknade vattenhastigheter ge en indikation på om det till exempel finns skyddade vikar där drivgods är mindre sannolika att transporteras vidare ned mot dammanläggningen.

Vind

Där enbart låga vattenhastigheter beräknats kan vinddriven transport vara det som kan föra drivgods mot anläggningen. Analysen av vilka områden som skulle

kunna transporteras med vinden kan fördjupas genom att förhärskande vindriktning jämförs med längsta stryklängd från dammen.

Genom att studera i vilket väderstreck slänterna närmast vattendraget är riktade kan eventuellt en bedömning göras för vilka strandsträckor som en viss vindriktning kommer att föra eventuellt drivgods ut från stranden eller fånga upp dem. Vid nordvästlig vind kommer till exempel träd att föras ut från slänter riktade mot sydost och fångas upp av slänter riktade mot nordväst.

Begränsande faktorer

En inventering bör göras av eventuella trånga sektioner uppströms utskoven som kan stoppa upp drivgodset. Det kan till exempel handla om förträngningar, broar eller vägtrummor i vattendragets huvudfåra eller biflöden.

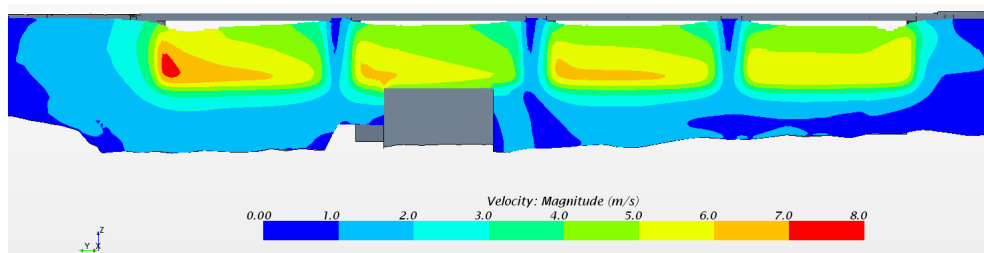
4.7.4 Dykningsfenomenet

I det fall pelarnosar ligger en bit uppströms dammen bör arean och djupet justeras för att bättre överensstämmer med det läge där drivgodset stoppas.

Vid en mer detaljerad studie kan flera olika flöden betraktas. Här tas förslagsvis flöden från medelvattenföring upp till fullt öppna luckor med. Innan samtliga luckor behöver öppnas bör regleringsstrategier vägas in. Vilken ordning luckorna öppnas och huruvida en lucka i taget öppnas fullt eller flera luckor öppnas parallellt. Olika regleringsstrategier kan ge olika hastigheter på ytan.

Vattenhastigheterna, och därmed även Frouddetalet (Fr), varierar över ett tvärsnitt i ett vattendrag. Figur 22 visar hastighetsfältet direkt uppströms utskoven för en damm med fyra utskovsöppningar. Då vattenhastigheterna varierar så mycket i ett tvärsnitt blir det viktigt hur man ansätter area och djup i beräkningen av Fr för att korrekt kunna studera vad som händer med drivgods framför utskoven. Frouddetalet varierar även beroende av utskovsluckans läge på så sätt att ytvattenhastigheten kommer att få betydelse för drivgodsets möjliga dykning. Ythastigheten förändras beroende på att hastighetsfältet trycks ner mot botten.

Detta är en komplicerad process som rekommenderas studeras med hjälp av CFD eller modellförsök. Då dykning av drivgods studeras kommer luftinblandning att ske under försöksverksamheten. Därav föreslås en så liten skillnad som möjligt mellan modellens skala och prototypens skala. En maximal skala av 1:40 rekommenderas.



Figur 22 Hastighetsfältet i ett begränsat tvärsnitt direkt uppströms utskoven för en damm med fyra helt öppna utskovsöppningar beräknat med en CFD-modell.

5 Åtgärdsanalys

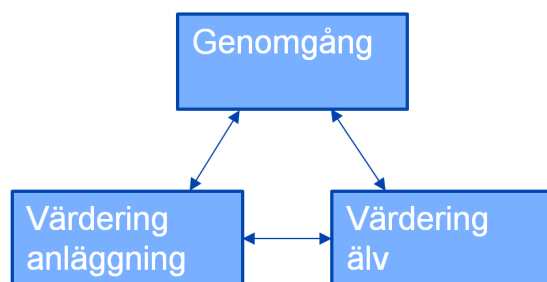
I detta kapitel beskrivs tillvägagångssätt för val av lämplig åtgärd för en specifik dammanläggning. Valet görs utifrån vilka förutsättningar som finns för anläggningen och vilken effekt en åtgärd kan ge även i ett älvperspektiv.

5.1 METOD

Analys åtgärder består av tre steg:

1. Genomgång av vilka åtgärder som är möjliga och lämpliga att använda utifrån förutsättningarna vid den givna anläggningen?
2. Värdering av åtgärdernas påverkan på sårbarheten för anläggningen, vilka åtgärder eller kombinationer av åtgärder kan ge önskvärd effekt, det vill säga låg sårbarhet (grön)?
3. Värdering av åtgärdernas påverkan på sårbarheten för älven, hur fungerar de olika åtgärdsalternativen ur ett älvperspektiv?

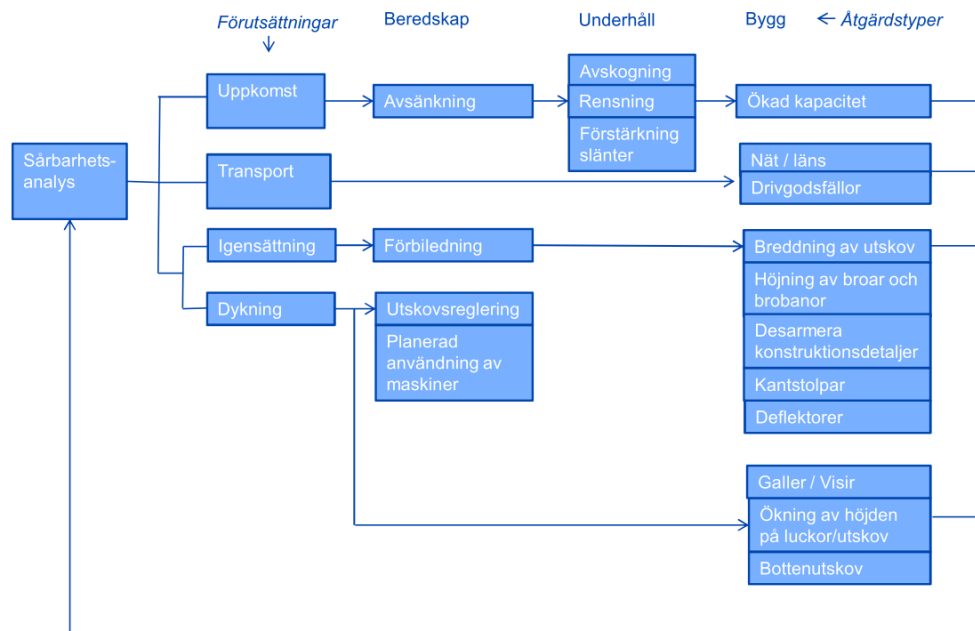
Figur 23 nedan beskriver processen för val av lämplig åtgärd.



Figur 23 Övergripande flödesschema för arbetsgång av val av åtgärd.

Föreslagen metod är ett exempel på arbetsgång där åtgärder först värderas ur ett anläggningsperspektiv och därefter ur ett älvperspektiv. Som dubbelpilarna i figuren antyder är detta en iterativ process. Detta bör beaktas för att undvika att stora utredningsinsatser görs kring åtgärder för en enskild anläggning, om de i nästa skede inte visar sig lämpliga från ett älvperspektiv. Det rekommenderas att de olika stegen först går igenom översiktligt för att sedan fördjupas för de åtgärder som bedöms funka för både anläggning och älv.

Åtgärder delas översiktligt in utifrån om de påverkar förutsättningarna för uppkomst av drivgods, förhindrar transporten till anläggningen, eller inverkar på sårbarheten hos anläggningen genom att förhindra igensättning och/eller dykning. Dessutom delas åtgärderna upp utifrån om de är underhållsåtgärder, beredskapsåtgärder eller byggåtgärder. En översikt av de olika åtgärderna beskrivs i Figur 24.



Figur 24 Översikt över olika åtgärder mot drivgods.

5.2 STEG 1 – GENOMGÅNG AV MÖJLIGHET OCH LÄMPLIGHET FÖR OLIKA ÅTGÄRDER

För att göra ett första urval av vilka åtgärder som kan användas vid den givna anläggningen beaktas parametrarna i Tabell 5 och Tabell 6.

1. Värdera fördelar och nackdelar för respektive åtgärd.
2. Värdera lämpligheten för åtgärden individuellt mot givna parametrar.
3. Fyll i om respektive åtgärd är möjlig att använda för given anläggning, JA eller NEJ.
4. Gå till steg 2.

Tabell 5 Hanterande åtgärder

Hanterande åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
Avskogning (A)	Trädlängd vs utskovslängd kan hållas <1, vilket kan generera förbiledning. Ingen risk för igensättning finns.	Underhållsarbete ökar. Ekologiska faktorer ogynnsamma även om drivgods-eliminering skapas.	Miljötillstånd, skogsareal och ekonomi för underhållsåtgärder.	
Rensning magasin (R)	Minskad påverkan av drivgods för alla vattenföringar.	Underhållsarbete ökar. Ekologiska faktorer ogynnsamma även om drivgods-eliminering skapas.	Miljötillstånd, storlek på magasin för rensning, vattenhastighet och ekonomi för underhållsåtgärd	
Planerad användning av maskiner (M)	Genom god planering kan enstaka drivgods elimineras framöver utskoven, vilket minskar risken för brötbildning.	Större mängder drivgods är ej möjligt att hantera både tidsmässigt så som arbets-miljömässigt.	Vattenhastighet och tillgänglighet (tillfartsvägar, maskinell åtkomst och uppställningsplaner)	
Utskovsreglering (U)	Användandet av synkroniserad öppning av utskovsluckor genererar lägre hastighet på ytan av magasinet. Drivgodsmatta skapas och dykning undviks.	Avbördningen begränsas till en viss nivå av öppning på utskovsluckorna och beror av hastighetsfältets påverkan på neddragning av drivgods.	Djup tröskelnivå, breda utskov, vattenhastighet och flera fjärrstyrda luckor.	
Förbiledning (F)	Trädlängd vs utskovslängd kan hållas <1, vilket kan generera förbiledning. Ingen risk för igensättning finns.	Problemet hanteras ej utan flyttas från en anläggning till en annan.	Breda utskov, nivå brobana, nivå underkant lucka och en nedströms anläggning som kan hantera drivgodset.	

Tabell 6 : Fysiska åtgärder

Fysisk åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
Nät/läns	Vid låga vattenhastigheter har nät och läns en bra förmåga att hålla drivgods undan från avbördande anordningar.	I många fall är stockarna anslutna ände mot ände, vilket innebär att om en kedja bryts upphör hela strukturen att fungera.	Vattenhastigheter, vattendjup och konstruktions-möjligheter	
Galler/visir	Kan optimeras för att eliminera dykningsfenomenet genom att vinkla konstruktionen eller placera denna vid optimal vattenhastighetssektion.	Måste byggas in i befintlig konstruktion vilket gör att konstruktions-mässiga villkor måste uppfyllas. Eftersom drivgodsmatta skapas krävs också kompletterande hantering med maskiner.	Vattenhastigheter, vattendjup och konstruktions-möjligheter	
Drivgodsfällor, tvärströmmar	Drivgods fångas upp innan det når anläggningen, vilket eliminerar problem med ev. igensättning. En bra lösning om fällan kan skapas nära anläggningen.	Magasins-utformning av givna parametrar krävs. Om fällan placeras uppströms kan delar av problemet ändå uppstå. Fällan måste klara höga flöden så drivgods inte släpps löst vid flödesförändring.	Magasinets strömbild, möjliga tvärströmmar eller kurvpartier i älvfåran.	
Drivgodsfällor, biflöde	Drivgods fångas upp i biflöde innan det når anläggningen, vilket eliminerar problem med ev. igensättning	Fällan måste vara konstruerad för att ta stora laster (i nätanordningen)	Biflödets lutning, förträngningar och sidostöd för upphängning av nätet.	
Desarmera konstruktionsdetaljer	Ett bra sätt att ej generera att enstaka drivgods fastnar och påverkar nästkommande drivgods som en kedjereaktion	Kommer ej fungera som hela lösningen utan endast för mindre påverkan. Vissa konstruktionsdetaljer kan vara mindre möjliga att eliminera.	Vattenhastigheter, vattendjup och konstruktions-utformning.	
Kantstolpar / Kantkonstruktioner	Genom styrande konstruktion förbilda drivgods. Fungerar som konstruktion i både	Påverkar nedanförliggande anläggning om inte drivgodsfälla skapas nedanför befintlig anläggning.	Vattenhastigheter, vattendjup och konstruktion	

Fysisk åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
	att vinkla drivgods så som att styra detta.			
Breddning av utskov	Är det fysiskt möjligt är breddning av utskov till en bredd överstigande trädlängd i magasin en bra lösning.	Dyrt och ett stort ingrepp. Kräver en kombination av bredd och visst djup ned till tröskeln. Utskovet får således en hög avbördningskapacitet. Redundans kan bli ett problem.	Vattenhastigheter, Fr, och konstruktionsmöjligheter	
Höjning av broar och brobanor	Genom optimal höjd av broar och brobanor minskar risken för igensättning mot vattenytan.	I ett vattendrag finns otalt många konstruktioner som skall byggas om.	Brobanors höjdläge över 1,7m från vattenytan = Liten sårbarhet	
Sänkning tröskel/ ökning överfallshöjd	En ökning av höjden ned till tröskeln skapar förutsättningar för minskat Froude tal, vilket ökar möjligheten till skapade av drivgodsmatta.	Dyrt och ett stort ingrepp.	Vattenhastigheter, Fr och konstruktionsmöjligheter	
Deflektorer	Styrande element som skapar möjlighet för drivgodset att förbiledas från anläggningen genom avbördningsanordningen.	Problemet hanteras ej utan flyttas från en anläggning till en annan.	Vattenhastigheter, vattendjup och konstruktionsutformning.	
Bottenutskov	Genom att hastighetsfältet skjuts mot botten skapas gynnsamma förutsättningar för drivgodset att läggas på ytan som en drivgodsmatta.	Bottenutskovens avbördningskapacitet måste optimeras utifrån dimensionerande flöde för att helt eliminera problematiken i kombination med placering så att Froude talet är lågt på ytan. Kan vara en dyr lösning om bottenutskov ej finns implementerade i anläggningen.	Vattenhastigheter, Fr och konstruktionsmöjligheter	

5.3 STEG 2 – VÄRDERING AV ÅTGÄRDERNAS PÅVERKAN PÅ SÅRBARHETEN FÖR ANLÄGGNINGEN

När lämpligheten är värderad bör en sårbarhetsbedömning genomföras för de åtgärder som är av relevans. När sårbarhetsbedömningen genomförs används Tabell 7 och Tabell 8. Fyll endast i vita fält.

5. Fyll i 0-läget för anläggningens sårbarhet.
6. Fyll i Tabell 7 och Tabell 8 om åtgärden är tillämpbar för anläggningen. Använd Tabell 5 och Tabell 6 för överföring av data.
7. Värdera respektive möjlig åtgärd för de tre faktorerna; drivgods, transport och igensättning/dykning. Vilken påverkan får åtgärderna individuellt samt i kombination med andra? För kombinationer kan Tabell 9 användas som stöd.
8. Värdera den sammanvägda sårbarheten för respektive applicerad åtgärd eller i kombination.
9. Värdera med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
10. Gör en sammanvägd sårbarhetsbedömning per flöde och värdera med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
11. Resultatet presenteras av ifylld Tabell 7 och Tabell 8 för given anläggning.
12. Beskriv lämpligheten för åtgärd/åtgärderna i text och vad som behöver genomföras för att erhålla önskat resultat. Krävs det förstudier, kontakt med berörd myndighet etc. för att applicera åtgärden och minska sårbarheten?
13. Gå till steg 3.

Tabell 7 Stöd för "Sammanvägd bedömning av möjliga åtgärder och dess påverkan på sårbarheten"

Åtgärder	Möjlig att tillämpa (JA/NEJ eller i kombination med)	Drivgods	Transport	Igensättning/dykning	Sammanvägd sårbarhet
O-läge: Sårbarhet utan åtgärd					
Avskogning (A)					
Rensning av magasin (R)					
Planerad användning av maskiner (M)					
Utskovsreglering (U)					
Förbiledning (F)					
Nät/Läns (N)					
Galler/visir (G)					
Drivgodsfällor, biflöde (I)					
Drivgodsfällor, tvärströmmar (D)					
Desarmera konstruktionsdetaljer (E)					

Åtgärder	Möjlig att tillämpa (JA/NEJ eller i kombination med)	Drivgods	Transport	Igensättning/dykning	Sammanvägd sårbarhet
Kantstolpar/Kantkonstruktioner (K)					
Breddning av utskov (B)					
Höjning av broar och brobanor (H)					
Sänkning tröskel/ökning överfallshöjd (S)					
Deflektorer (L)					
Bottenutskov (T)					
Kombinationer (X)					

Tabell 8 Stöd för "Sammanvägd bedömning av möjliga åtgärder och dess påverkan på sårbarheten"

Åtgärder	Möjlig att tillämpa (JA/NEJ eller i kombination med)	Normal-flöde	FDK II-flöde	Dim flöde (FDK I-flöde)	Sammanvägd sårbarhet
O-läge: Sårbarhet utan åtgärd					
Avskogning (A)					
Rensning av magasin (R)					
Planerad användning av maskiner (M)					
Utskovsreglering (U)					
Förbildning (F)					
Nät/Läns (N)					
Galler/visir (G)					
Drivgodsfällor, biflöde (I)					
Drivgodsfällor, tvärströmmar (D)					
Desarmera konstruktionsdetaljer (E)					
Kantstolpar/Kantkonstruktioner (K)					
Breddning av utskov (B)					
Höjning av broar och brobanor (H)					
Sänkning tröskel/ökning överfallshöjd (S)					
Deflektorer (L)					
Bottenutskov (T)					

Åtgärder	Möjlig att tillämpa (JA/NEJ eller i kombination med)	Normal-flöde	FDK II-flöde	Dim flöde (FDK I-flöde)	Sammanvägd sårbarhet
Kombinationer (X)					

Tabell 9 beskriver ett par parametrar och vägval för dessa avseende val av åtgärder. En kombination av åtgärder beskrivs därtill som ett möjligt direkt vägval. Både konstruktionsmässiga begränsningar och drivgodsfungerande begränsningar belyses. Kostnadsmässiga begränsningar värderas ej i Tabell 9.

Tabell 9 Stöd till bedömning av åtgärd (+ = fungerar, - = fungerar ej samt ej relevant = ej relevant)

Fysiska åtgärder	Djup till utskovs-tröskel eller magasin-botten >5m	Djup till utskovs-tröskel eller magasin-botten <5m	Höga vatten-hastigheter och högt Froudetal >0,3	Trädlängd/utskovsbredd H/W >1	Möjlig kombination med hanterande åtgärd
Nät/läns	+	+	-	Ej relevant	A, R, M
Galler/visir	-	+	+	+	A, R, M
Drivgodsfällor, tvärströmmar	Ej relevant	Ej relevant	-	+	A, R, M
Desarmera konstruktionsdetaljer	Ej relevant	Ej relevant	+	+	F
Kantstolpar	-	+	+	+	F
Breddning av utskov	+	+	+	+	F
Höjning av broar och brobanor	Ej relevant	Ej relevant	+	Ej relevant	U, F, M
Ökning av höjden på luckor/utskov	+	-	+	+	U, M
Deflektorer	+	+	+	+	F
Bottenutskov	+	-	+	+	U, M

5.4 STEG 3 - VÄRDERING AV ÅTGÄRDERNAS PÅVERKAN PÅ SÅRBARHETEN FÖR ÄLVEN

När val av åtgärd genomförs bör ett totalt sammanhang värderas. Efter möjlig applicering av åtgärd på enskild anläggning bör älven analyseras för att optimera att fördelar avseende riskhantering, ekonomi och arbetsmiljö erhålls. Att analysera så kallade "drivgodsdämpande" anläggningar är väsentligt för att uppnå en total optimal lösning både för älven så som för den enskilda anläggningen. En viktig fråga att ställa sig är "Hur fyller anläggningen sin funktion i älven med föreslagna applicerade åtgärder?". Att värdera hur en åtgärd påverkar nedanförliggande anläggningar skapar också möjlighet att optimera att val av åtgärd är korrekt bedömd.

Gör så här:

14. Respektive dammägare har använt Tabell 7 & Tabell 8 som stöd från respektive bedömning av anläggning i älven.
15. Genomför ett samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån. En helhetsbild kan endast skapas om dammägare går samman och hanterar problematiken tillsammans.
16. Fyll i Efter genomfört samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån krävs en djupdykning i steg 2 igen, punkt 6-13. En anläggning som tidigare varit grön kan under en dialog för älven/ån hamna som röd. Alla dessa faktorer måste vägas ihop för att sätta den slutliga bedömningen för sårbarheten med applicerad åtgärd.
17. Tabell 10 med stöd av Tabell 11 samt anläggningsspecifika Tabell 7 och Tabell 8. Nomenklaturförkortningar avseende åtgärder fylls på under respektive påverkansart; drivgods, transport eller igensättning/dykning. Gör en sammanvägd sårbarhetsbedömning per anläggning och värdera med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
18. Diskutera möjliga optimeringslösningar av hela vattendraget och värdera den minskade sårbarheten avseende drivgods för samtliga punkter i metodiken 1-12. Använd Efter genomfört samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån krävs en djupdykning i steg 2 igen, punkt 6-13. En anläggning som tidigare varit grön kan under en dialog för älven/ån hamna som röd. Alla dessa faktorer måste vägas ihop för att sätta den slutliga bedömningen för sårbarheten med applicerad åtgärd.
19. Tabell 10 som stöd i urvalsprocessen av lämpliga åtgärder.
20. Gör en total sammanvägd sårbarhetsbedömning för optimal sammanvägd åtgärds paket och värdera med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
21. Beskriv lämpligheten för den kombinerade åtgärden i text och vad som behöver genomföras för att erhålla önskat resultat. Krävs det förstudier, kontakt med berörd myndighet etc. för att applicera åtgärden och minska sårbarheten?
22. Efter genomfört samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån krävs en djupdykning i steg 2 igen, punkt 6-13. En anläggning som tidigare varit grön kan under en dialog för älven/ån hamna som röd. Alla dessa faktorer måste vägas ihop för att sätta den slutliga bedömningen för sårbarheten med applicerad åtgärd.

Tabell 10 Stöd för "Sammanvägd bedömning av möjliga åtgärder och dess påverkan på sårbarheten i ett älv perspektiv"

Älven/Anläggning	Drivgods	Transport	Igensättning/ dykning	Sammanvägd sårbarhet
Anläggning 1				
Anläggning 2				
Anläggning 3				
Anläggning 4				
Anläggning 5				
Anläggning 6				

Tabell 11 Nomenklatur åtgärder med förkortningar

Avskogning (A)
Rensning av magasin (R)
Planerad användning av maskiner (M)
Utskovsreglering (U)
Förbildning (F)
Nät/Läns (N)
Galler/visir (G)
Drivgodsfällor, biflöde (I)
Drivgodsfällor, tvärströmmar (D)
Desarmera konstruktionsdetaljer (E)
Kantstolpar/Kant-konstruktioner (K)
Breddning av utskov (B)
Höjning av broar och brobanor (H)
Sänkning tröskel/ökning överfallshöjd (S)
Deflektorer (L)
Bottenutskov (T)

6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras samt den framtagna metoden, varför den ser om som den gör och vilka delar som har ett utvecklingsbehov.

6.1 SÅRBARHETSANALYS

Den föreslagna metoden för sårbarhetsanalys är framtagen med stöd i nuvarande kunskapsläge. Det har varit ett mål att metoden ska kunna användas för att på ett systematiskt sätt få en översiktlig bild över sårbarheter för drivgods för den eller de anläggningar som analyseras. Arbetssättet i projektet har varit att prova olika vägar för att se vilken information som går att få fram, för att sedan avgöra vilken information som är lämplig att väga in.

6.1.1 Uppkomst av drivgods

Bedömning av förutsättning för uppkomst av drivgods kan genomföras utgående från varierande tillgång till underlag. Om en geografisk analys finns tillgänglig finns en stor flexibilitet att filtrera och kombinera resultat på olika sätt.

Antal träd eller total volym träd inom området som bedöms kunna producera drivgods har ägnats mycket fokus i projektet. Potentiella mängder av drivgods kan beräknas men där finns en mycket stor osäkerhet. Sårbarheten hos dammanläggningen inte är direkt kopplad till mängden drivgods. Därför har antal träd inte inkluderats i sårbarhetsanalysen. Det kan däremot vara relevant att ta reda på mängder för att bedöma omfattning av och dimensionera åtgärder.

Storlek och densitet på drivgodset är av större betydelse för vad som sedan händer vid dammanläggningen.

En snabb utveckling sker just nu i Sverige kopplat till den nya nationella höjdmodellen. Ett bra underlag för geografiska analyser finns därmed tillgängligt och kommer i framtiden bli mer och mer lättillgängligt.

Utvecklingen av modeller för beräkning av potentiell drivgodsmängd utifrån fysikaliska parametrar, som utvecklas i olika delar av världen, kan vara intressant att följa.

Metod för att bedöma uppkomst och förväntad storlek hos flyttuvor har inte tagits fram inom detta projekt.

6.1.2 Transport

Det saknas i nuläget information om vilka vattenhastigheter som krävs för att dra med sig samt transportera större mängder av träd. Möjligheterna för drivgods att transporteras beror dessutom även av form på magasin och sjöar och andra begränsande faktorer.

Eventuellt skulle mer information om detta kunna hämtas ur erfarenheter från flottningstiden. Känt är att flottningsvirket ofta fick bogseras över större sjöar och

magasin. Det finns numer också möjlighet att simulera transport av drivgods i hydrauliska modellverktyg.

6.1.3 Förutsättning för igensättning och dykning

Sårbarhetsbedömningen för igensättning och dykning behandlar principiellt "traditionella" utskov, med luckor, som är det som är allra vanligast i Sverige.

Då projektet startade fanns ett antal parametrar som pekades ut som avgörande för förutsättningen att hantera drivgods vid anläggningen. Modellförsök hade inriktats mycket på att bedöma sannolikhet för att träd av olika relativ längd i förhållande till utskovet skulle fastna, och vilka metoder som finns för att underlätta passage av träd. Problemet med det resonemanget var att så fort man har flera utskov öppna, vilket ofta är fallet i svenska dammar, samt om flera träd kommer i grupp så blev svårt att utesluta risken för att träd skulle fastna. Det räcker med att ett träd fastnar så kommer även efterföljande att fastna. Att leda förbi drivgods riskerar dessutom att bara flytta problemet till nästa anläggning.

Mycket fokus hade också lagts på vilken reduktion av avbördningsförmågan olika antal träd kunde ge. Försöken visade att redan vid ett 30-tal träd kan utskov sätta igen helt.

Projektets första ansats vara att inventera alla faktorer som skulle kunna ha betydelse för anläggningens sårbarhet för drivgods. Det var dock först efter de forskningsresultat som publicerades förra året som ett mer entydigt samband kunde ses kring vad som blir avgörande.

Ythastighetens påverkan på neddragning av drivgods bör studeras vidare. Genom att endast använda delvis öppna (uppåtgående) luckor kan hastighetsfältet skjutas djupare ner mot botten. Det kan ses som en möjlig åtgärd vid ankommande drivgods och då specificeras i en handlingsplan. Givet är också att metoden kan utvecklas vidare om ökad kunskap genereras för ythastighetspåverkan på drivgods. Beskrivning av hur beräkning av Froudetallet görs för tvärsnitt längre uppströms om utskoven behöver tas fram. Fördjupad kunskap behövs också kring intervallet $0,15 < Fr < 0,3$ och hur densitetsberoendet ser ut.

6.2 ÅTGÄRDSANALYS

Behovet av åtgärd kan bedömas för en anläggning i taget, men bör även analyseras ur ett älyperspektiv. Det finns ett antal åtgärder för vilka kunskapen skulle behöva fördjupas. När det gäller länsar har det konstaterats i DSIG-projekt att det är mycket svårt att dimensionera dem för extrema tillfällen och kunna lita på att de kommer fungera i skarpt läge. Det finns också frågetecken kring hur man skall dimensionera länsar med hänsyn till dynamiska laster.

7 Rekommendationer

I detta kapitel beskrivs rekommendationer för användning och fortsatt arbete.

Det rekommenderas att former för älvgemensamt samarbete utvecklas kring denna fråga.

Geografiska analyser för att bedöma förutsättningar för drivgods att uppkomma och transporteras kan med fördel göras samordnat för flera vattendrag med vattenkraftsanläggningar.

På samma sätt kan den översiktliga metoden för bedömning av förutsättning för igensättning och dykning med fördel utföras samordnat för ett vattendrag.

Då ett större antal dammar analyserats med stöd av metoden föreslås att en utvärdering sker av utfallet i syfte att utveckla metoden vidare. I samband med detta bör även kunskapsläget uppdateras.

Det rekommenderas att man på sikt utvecklar RIDAS i denna fråga.

Bevakning av utveckling av riktlinjer och vägledningar gällande drivgods i andra länder, till exempel Schweiz, rekommenderas.

Möjligheter att hantera drivgods med "nya" metoder för att öka eller skapa marginal i avbördningsförmågan, till exempel labyrinth eller PKW-utskov eller fuse-plugs rekommenderas studeras vidare.

8 Referenser

- [1] Åstrand, S., Johansson, N., 2011. Drivgods vid extrema tillfällen – nulägesbeskrivning. Elforsk rapport 11:32, Energiforsk AB.
- [2] Johansson, N., 2010. Floating debris and dam safety: Hydraulic model tests. CEATI Report No. T052700-0209A/4.
- [3] Comfort, G et al., 2010. Debris yield reduction by management. CEATI report No. T052700-0209A/1.
- [4] Comfort, G et al., 2010. Failure modes for debris booms. CEATI report No. T052700-0209A/2.
- [5] Comfort, G et al., 2010. Dynamic loads on debris booms. CEATI report No. T052700-0209A/3.
- [6] Rundqvist, J., 2005. Debris in Reservoirs and Rivers – DamSafety Aspects. CEATI Report No. T042700-0209.
- [7] Material från workshop om drivgods,
<http://www.swissdams.ch/index.php/en/publications/workshops-2/workshop-2016>, The Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW), Swiss Committee On Dams (SwissCOD).
- [8] Sveriges geologiska undersökning (SGU) hemsida, www.sgu.se.
- [9] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) hemsida, www.msb.se.
- [10] Statens geotekniska institut (SGI) hemsida, www.swedgeo.se
- [11] Gardiner, B., Blennow, K., Carnus, J-M., Fleischer, M., Ingemarson, F., Landmann, G., Lindner, M., Marzano, M., Nicoll, B., Orazio, C., Peyron, J-L., Reviron, M-P., Schelhaas, M-J., Schuck, A., Spielmann, M. and Usbeck, T., 2010. Destructive storms in European forests: past and forthcoming impacts. Final report to DG Environment 07.0307/2009/SI2.540092/ETU/B.1). 138 p.
- [12] Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) hemsida, www.smhi.se.
- [13] Skogsstyrelsens hemsida, www.skogsstyrelsen.se.
- [14] Hartlieb, A., 2015: Schwemmholz in Fließgewässern - Gefahren und Lösungsmöglichkeiten. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Heft 133 (Monographie).
- [15] Björkman, 1946. Om uppkomsten av stockblanad och lagringsröta i furusågtimmer i samband med flötning. Statens skogsforsknings institut, band 35, nr 5.

- [16] Dath, J., Mathiesen, M., 2007. Förstudie hydraulisk design - Inventering och översiktlig utvärdering av bottenutskov i svenska dammanläggningar. Elforsk rapport 10:87.
- [17] Söderström, A. 2014. Ritning av Halvfari läns. Sweco Energuide.
- [18] Bilder på Halvfari drivgodslänsa, 2016. vattenkraft.info
- [19] Persson, F. 2011. Granö intagskanal. E.ON Vattenkraft Sverige AB.
- [20] Persson, F., 2015. Skallböle feasibility study. ÅF International.
- [21] Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) hemsida, www.slu.se.
- [22] Vägledning ras, skred, erosion. Webbaserad kartvisningstjänst, gis.swedgeo.se/rasskrederosion.
- [23] Rydell, B, Blied, L, Hedfors, J, Hågerryd, AC, Turesson, S. (2012). Metodik för översiktlig kartering av risker för stranderosion. Statens geotekniska institut, SGI. Varia 641.
- [24] Skredriskkommissionen, 1995. Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Rapport 3:95.
- [25] Lundström, K, Viberg, L, Sundsten, M, Andersson, M, Fallsvik, J, Sällfors, G (2007). Översiktlig kartering av stabilitets- och avrinningsförhållanden i raviner och slänter i morän och grov sedimentjord. Metodbeskrivning. Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap.
- [26] Information om beredskapsplanering för dammbrott, www.svk.se/aktorsportalen/dammsakerhet/beredskap

Bilaga 1 Exempel på tillämpning

Tabell 1 Bedömning av förutsättning för uppkomst av drivgods för dammanläggningar i Ljungan vid ett klass I-flöde.

	Bi-flöde	Erosion	Ras och skred	Översvämning	Övrigt	Problem	Bedömning
STORSJÖN			nej	ja		nej	vissa
FLÅSJÖ-GRUCKEN			nej	nej		nej	små
TRÅNGFORS (Skålan)	nej		nej	ja		nej	vissa
RÄTAN	nej	ja	ja	ja		nej	stora
TURINGE			ja	ja		nej	stora
BURSNÄS			ja	ja		nej	stora
HAVERN			ja	ja		nej	stora
HOLMSJÖN		nej	ja	ja		nej	stora
ALBYDAMMEN		nej	nej	ja		nej	vissa
RINGDALSDAMMEN		ja	nej	nej		nej	vissa
PARTEBODA		ja	ja	ja		nej	stora
HERMANSBODA		ja	ja	ja		nej	stora
LJUNGA		ja	ja	ja		nej	stora
LERINGSFORSEN		nej	nej	ja		nej	vissa
TORPSHAMMAR		nej	nej	nej		nej	små
NEDEREDE		ja	ja	ja		nej	stora
SKALLBÖLE		ja	ja	ja		nej	stora
MATFORS		ja	ja	ja		nej	stora
VIFORSEN		ja	ja	ja		nej	stora

Förekomsten av erosionskänsliga material för hela det studerade området. Med undantag för Rätan (mkt sand) minskar sträckan med erosionskänsliga material uppströmsåt i älven. Värt att notera är att det inte förekommer några erosionskänsliga material intill vattnet i jordartskartan för TorpsHAMMAR.

Översvämning och överdämning förekommer vid höga flöden för i princip alla anläggningar, med undantag för TorpsHAMMAR. Flyttuvor förekommer enligt uppgift inte i något av magasinen i Ljungan. Övriga typer av drivgods har inte analyserats inom ramen för detta projekt.

Det finns inga dokumenterade problem med drivgods för någon av anläggningarna i Ljungan. Vid höglödet sommaren år 2000 (ca 1000 m³/s i nedre delen) steg ytan i Stödesjön och Marmen 2,5 m över den som är normal. Trots att ytor översvämmades producerades inga stora mängder träd som drivgods. De träd som kom medförde inga problem för Statkraft. Det förekom även bryggor, bråte samt en pegelkur. De träd som kom åkte igenom utskoven, enligt personalen så kom de med roten först och inrättade sig som en "kompassnål" med strömmen.

1.2 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR TRANSPORT

Förutsättningar för att drivgods skall kunna transporteras från källan till dammens utskov har bedömts för varje dammanläggning utifrån de kriterier som angivits i den översiktliga metoden. Tabell 2 visar analysen och bedömningen för Ljungan vid klass I-flöde. Tomma fält betyder här att det inte finns för den anläggningen.

Tabell 2 Bedömning av förutsättning för transport av drivgods för anläggningar i Ljungan vid klass I-flöde.

	Magasin	Magasin "i vind- riktning"	Oregel- bunden form	Älv- sträcka	Trånga sektioner	Bedömning transport
STORSJÖN	ja	ja				små
FLÅSJÖ-GRUCKEN	ja	ja				små
TRÅNGFORS (Skålan)	ja		ja	ja		vissa
RÄTAN	ja		ja	ja	ja	vissa
TURINGE	ja	ja	ja	ja		vissa
BURSNÄS	ja	ja		ja		stora
HAVERN	ja		ja			små
HOLMSJÖN	ja		ja		ja	små
ALBYDAMMEN	ja			ja	ja	vissa
RINGDALSDAMMEN				ja		stora
PARTEBODA	ja	ja		ja		stora
HERMANSBODA	ja		ja	ja		vissa
LJUNGA	ja	ja		ja		stora
LERINGSFORSEN	ja					små
TORPSHAMMAR	ja					små
NEDEREDE				ja	ev	stora
SKALLBÖLE	ja	ja		ja		stora
MATFORS				ja		stora
VIFORSEN	ja		ja	ja	ev	vissa

1.3 FÖRUTSÄTTNING FÖR IGENSÄTTNING OCH DYKNING

Som indata för analysen har sammanställningen av dimensionerande flöden i Ljungan använts tillsammans med kraftindustrins dammregister för de ingående anläggningarna.

För vissa av anläggningarna har en GIS-analys gjorts av förekommande trädlängder.

Tabell 3 visar analysen och bedömningen för ett klass I-flöde. Alla dammar har förutsättning för igensättning och dykning. Detta gäller även vid ett 100-årsflöde utom för Torpshammar och Leringsforsen som har Froudetal mellan 0,15 och 0,3 vid 100-årsflöde.

Tabell 3 Bedömning av förutsättning för igensättning och dykning för anläggningar i Ljungan klass I-flöde.

	Igensättning (L/B)	Dykning (Fr)	Densitet	Bedömning
STORSJÖN	8,3	0,48		Igensättning + dykning
FLÅSJÖ-GRUCKEN	9,7	0,81		Igensättning + dykning
TRÅNGFORS (Skålan)	7,3	0,59		Igensättning + dykning
RÄTAN	2,4	0,62		Igensättning + dykning
TURINGE	2,4	0,67		Igensättning + dykning
BURSNÄS	2,4	0,64		Igensättning + dykning
HAVERN	1,9	0,92		Igensättning + dykning
HOLMSJÖN	1,1	0,47		Igensättning + dykning
ALBYDAMMEN	4,0	0,61		Igensättning + dykning
RINGDALSDAMMEN	3,4	0,82		Igensättning + dykning
PARTEBODA	3,1	0,35		Igensättning + dykning
HERMANSBODA	2,4	0,36		Igensättning + dykning
LJUNGA	-	-		Uppgifter saknas
LERINGSFORSEN	9,7	0,35		Igensättning + dykning
TORPSHAMMAR	4,8	0,32		Igensättning + dykning
NEDEREDE	2,5	0,67		Igensättning + dykning
SKALLBÖLE	2,4	0,77		Igensättning + dykning
MATFORS	3,6	0,52		Igensättning + dykning
VIFORSEN	3,5	0,49		Igensättning + dykning

1.4 SAMMANVÄGD BEDÖMNING AV SÅRBARHETEN

Tabell 4 visar analysen och den sammanvägda bedömningen.

Tabell 4 Sammanvägd bedömning av sårbarhet för drivgods för dammanläggningar i Ljungan vid klass I-flöde.

	Drivgods	Transport	Igensättning/dykning	Sårbarhet
STORSJÖN	översvämning	Mag. /sjö i vindriktn	Igensättn + dykn	liten
FLÅSJÖ-GRUCKEN	ingen	Mag. /sjö i vindriktn	Igensättn + dykn	liten
TRÅNGFORS (Skålan)	översvämning	kombination	Igensättn + dykn	viss
RÄTAN	erosion, ras och skred, översvämning	kombination	Igensättn + dykn	viss
TURINGE	ras och skred, översvämning	kombination	Igensättn + dykn	viss
BURSNÄS	ras och skred, översvämning	älvsträcka	Igensättn + dykn	stor
HAVERN	ras och skred, översvämning	Mag. /sjö oregelbunden form	Igensättn + dykn	liten
HOLMSJÖN	ras och skred, översvämning	Magasin/sjö oregelbunden form	Igensättn + dykn	liten
ALBYDAMMEN	översvämning	kombination	Igensättn + dykn	viss
RINGDALSDAMMEN	erosion	älvsträcka	Igensättn + dykn	viss
PARTEBODA	Erosion, ras och skred, översvämning	kombination	Igensättn + dykn	stor
HERMANSBODA	Erosion, ras och skred, översvämning	kombination	Igensättn + dykn	viss
LJUNGA	Erosion, ras och skred, översvämning	kombination		stor
LERINGSFORSEN	översvämning	Magasin/sjö	Igensättn + dykn	liten
TORPSHAMMAR	ingen	Magasin/sjö	Igensättn + dykn	liten
NEDEREDE	Erosion, ras och skred, översvämning	Älvsträcka	Igensättn + dykn	stor
SKALLBÖLE	Erosion, ras och skred, översvämning	Älvsträcka+mag. /sjö i vindriktn	Igensättn + dykn	stor
MATFORS	Erosion, ras och skred, översvämning	Älvsträcka+mag. /sjö i vindriktn	Igensättn + dykn	stor
VIFORSEN	Erosion, ras och skred, översvämning	kombination	Igensättn + dykn	viss

1.5 UTVÄRDERING AV ÅTGÄRDSBEHOV

Tabell 5 visar sammanställningen av bedömd sårbarhet, konsekvensklass (RIDAS 2012) och utnyttjad andel av avbördningskapaciteten vid tatkärnans överkant för att ge en bild av vilka eventuella marginaler som finns. För klass I-flöde har även markerats vilka dammar som överströmmas av flödet och eventuellt kommer att haverera. Figur 2 presenterar resultatet grafiskt.

Den enda av dammanläggningarna med stor sårbarhet för drivgods som enligt denna sammanställning inte överströmmas av ett klass I-flöde är Skallböle.

Tabell 5 Parametrar att beakta vid utvärdering av åtgärdsbehov för drivgods för dammanläggningar i Ljungan.

	Kkl	Sårbarhet Qklass I ÖS= överströmn	utnyttjad % avb-kap vid tök, klass I
STORSJÖN	2	ÖS	1,6
FLÅSJÖ-GRUCKEN	1		0,9
TRÅNGFORS (Skålan)	1		1,2
RÄTAN	1		0,9
TURINGE	1		1,0
BURSNÄS	3	ÖS	1,3
HAVERN	3	ÖS	
HOLMSJÖN	1		1,0
ALBYDAMMEN	2	ÖS	
RINGDALSDAMMEN	3	ÖS	
PARTEBODA	1	ÖS	1,1
HERMANSBODA	2	ÖS	2,2
LJUNGA	3	ÖS	1,7
LERINGSFORSEN	1		1,0
TORPSHAMMAR	1		0,7
NEDEREDE	1	ÖS	1,5
SKALLBÖLE	1		1,4
MATFORS	1	ÖS	1,7
VIFORSEN	3		1,6

2 Skallböle - Exempel på metodik för detaljerad sårbarhetsanalys för en dammanläggning

För Skallböle, figur 2, redovisas användning av mer detaljerad analys av sårbarhet kan utföras.

Metoden är i det enskilda fallet för Skallböle kompletterad med modellförsök i laboratorium. Detaljerad sårbarhetsanalys har skett för tre flöden; normalflöde, högflöde och extremflöde.

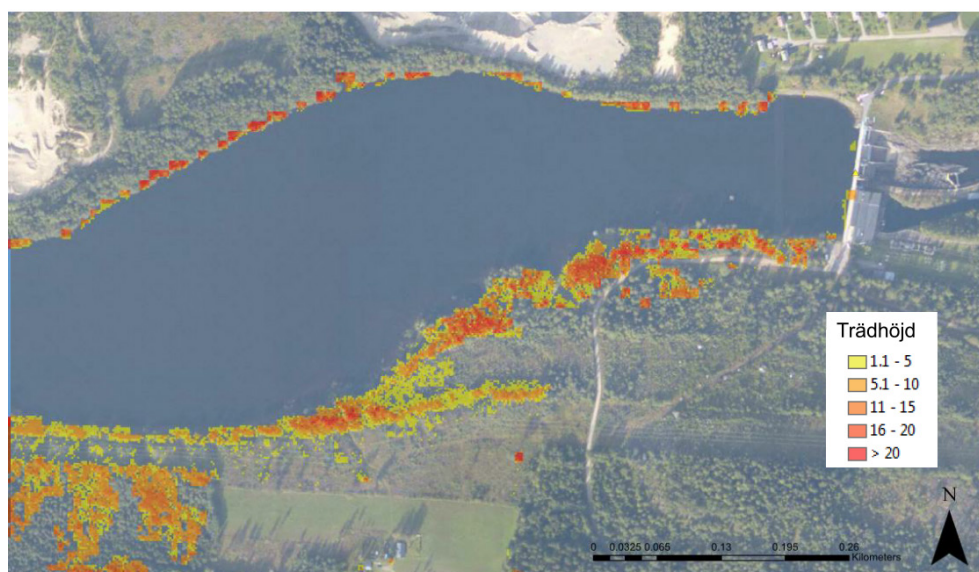


Figur 2 Skallböle kraftstation (foto; Statkraft Sverige AB)

2.1 INVENTERING AV POTENTIellt DRIVGODS

En inventering av potentiella källor till drivgods har genomförts med hjälp av ArcGIS baserat på laserdata, översvämningskartor och beräknade vattenhastigheter som fanns tillgängligt från beredskapsplaneringsprojektet i Ljungan¹. Dessa data har kombinerats med jordartskartan för att få fram områden med risk för ras eller skred, erosion och översvämnning.

¹ Information om beredskapsplanering för dammbrott, www.svk.se/aktorsportalen/dammsakerhet/beredskap



Figur 3 Trädhöjder för träd i riskområden för drivgodspåverkan just uppströms Skallböle kraftverk.

Antal träd och trädhöjder har analyserats inom riskområden och summerats utifrån källa:

- Översvänningsområden (klass I-flöde): 24 000 träd
- Erosion: 1000 träd
- Ras- och skredrisk: 30 000 träd

Resultatet visas i Figur 3. Detta är den totala mängden träd för de olika riskområdena. Områdena överlappar och påverkar varandra. Det är därför inte korrekt att summera rakt av. Drivgodsmängder bör istället utgå från olika scenarier. Därefter kan utvalda data på antal träd, trädhöjder med mera filtreras fram.

2.2 FÖRUTSÄTTNING FÖR TRANSPORT

De maximala medelvattenhastigheterna uppströms varierar mellan 1,4 m/s vid normalflöde och 3,3 m/s vid klass I-flöde. Som förväntat återfinns de högre hastigheterna i smalare älvsträckor medan medelvattenhastigheterna i sjöar och magasin inte överstiger 0,1 m/s ens vid de högsta flödena. Riktningen på magasinet är ungefär samma som för den förhärskande vindriktningen och det finns inga konstruktioner eller andra kända förträngningar som skulle kunna hindra drivgodset att nå dammanläggningen.

2.3 IGENSÄTTNING OCH DYKNING

2.3.1 Normalflöde

Normalflödet tas normalt sett genom kraftstationen och eventuellt drivgods kommer därför att samlas framför intaget. Utskovet har tre lucköppningar. Den ombyggda mittenluckan, som är den bredaste och djupaste, har kapacitet att avbörda normalflödet delvis öppnad. Om utskoven i stället används kommer drivgodset att dras mot denna.

När bara en lucka är öppen är sannolikheten för passage av träd med längder uppemot 1,5-2 gånger utskovsbredden hög även när luckan är delvis öppen. Froude-talet, Fr , är under 0,15 vid ytan. Detta betyder att även om träd skulle börja ansamlas framför utskovet så skulle de inte dras ned mot tröskeln. Därmed skulle inte avbördningskapaciteten påverkas. Detta utgår från att träden inte legat i vattnet under en lång tid då detta ökar trädens densitet.

Vid medelvattenföring utnyttjas 10% av den totala avbördningskapaciteten vid DG. Stighastigheten är 0,05 m/h och det tar ungefär 38 timmar innan vattennivån når tätkärnans överkant vid en total igensättning av utskoven. Möjligheterna att omhänderta drivgods anses vara relativt goda. Anläggningen kan nås från två tillfartsvägar och ligger nära ett större samhälle där tillgång finns till olika resurser. Om några träd fastnar framför utskovet kan de troligen tas bort med hjälp av en kranbil. Att rensa ett utskov som är helt igensatt av drivgods tar troligen mycket mer än 38 timmar så för att det ska vara möjligt att göra en insats måste den ske tidigt.

2.3.2 Högflöde

För att avbörda ett 100-årsflöde är alla utskov öppna och drivgodset kommer att fördelas mellan dem. När flera luckor är öppna samtidigt minskar sannolikheten för passage för träd som är längre än utskovsbredden eftersom träden inte rätar upp sig i flödesriktningen på samma sätt som när bara ett utskov används. För referensanläggningen har fysiska modellförsök använts för att testa risken för igensättning av drivgods vid höga flöden och olika förhållanden. Då alla utskov hålls delvis öppna på samma nivå blir vattenhastigheten på ytan uppströms utskovet 1,5 m/s vilket motsvarar ett Froudetal, $Fr < 0,15$.



Figur 4 Drivgodsförsök "sårbarhet vid högt flöde"

Vid 100-årsflödet utnyttjas ca 70% av den totala avbördningskapaciteten vid DG. Stighastigheten är 0,2 m/h och det tar ungefär 9 timmar innan vattennivån når tätkärnans överkant vid en total igensättning av utskoven. Om träd fastnar framför utskovet bedöms möjligheterna små att ta bort dessa som små, främst på grund av höga vattenhastigheter.

2.3.3 Extremflöde

För att avbörda flöden med återkomsttider på 1000 år eller mer är alla utskov öppna och driv-godset kommer att fördelas mellan dem. Vattenhastigheten på ytan uppströms utskovet är 2,2 m/s vid ett 1000-årsflöde och 3,3 m/s vid klass I-flöde vilket motsvarar ett Froudetal, $Fr > 0,3$. Detta betyder att träd kommer att dras ned mot utskoven och därmed reducera avbördnings-kapaciteten.

Marginalen för att avbörda klass I-flödet är 5% vid dammkrön. Stighastigheten är 0,4 m/h. Möjligheterna att ta bort drivgods som fastnat bedöms som små. Det är också osäkerhet om dammanläggningen kommer att kunna nås och om driftgruppen kommer att ha tillräckliga resurser.

2.4 SAMMANVÄGD DETALJERAD BEDÖMNING AV SÅRBARHETEN

2.4.1 Normalflöde

Utifrån givna källor och transportförutsättningar vid normalflöde förväntas drivgodset ankomma som enstaka träd. Större mängder drivgods av andra typer än träd förväntas inte uppkomma. Antalet träd inom områden med potentiell produktion och med längder som överstiger 1,5 gånger bredden på utskoven uppgår till ca 1000. Froudetalet är under 0,15 och därmed finns ingen riks för dykning. Sårbarheten för drivgods vid normalflöde bedöms vara låg (grön).

2.4.2 Högflöde (100-årsflöde)

Vid högflöde förväntas drivgodset ankomma både som enskilda träd och grupper. Flytande drivgods av andra typer än träd förväntas också förekomma. Antalet träd inom områden med potentiell produktion vid högflöde och med längder som överstiger 1,5 gånger bredden på utskoven uppgår till ca 7000. Med delvis öppna luckor kan Froudetallet hållas under 0,15 annars ligger det mellan 0,15 och 0,3.

Det bedöms finnas viss sårbarhet (gul) för drivgods vid högflöde. Anläggningen har dock inte haft problem med drivgods vid tidigare högflöden.

2.4.3 Extrema flöden (klass I-flöde)

Vid extrema flöden förväntas drivgodset ankomma både som enskilda träd, grupper och kanske även större brötar. Flytande drivgods av andra typer än träd förväntas också förekomma. Antalet träd inom områden med potentiell produktion vid högflöde och med längder som överstiger 1,5 gånger bredden på utskoven uppgår till ca 10000. Froudetallet är över 0,3. Sårbarheten för drivgods vid extremflöde bedöms vara stor (röd).

Den sammanvägda bedömningen efter den detaljerade analysen visar att vi har en liten sårbarhet för drivgods vid låga flöden (normalflöde) medan sårbarheten ökar upp till större sårbarhet för drivgods vid dimensionerande flöde, se tabell kan ges följande riktvärde, se Tabell 6.

Tabell 6 Sårbarhetsbedömning i detaljerad analys.

Flöde	Faktor	Drivgods	Transport	Igensättning och dykning	Sammanvägd sårbarhet
Normalflöde		H/W= 1,5, 1000 träd	< 1,0 m/s	Fr<<0,15	Liten sårbarhet
FDK II-flöde		H/W= 1,5, 7000 träd	1,5 m/s	Fr<0,15	Viss sårbarhet
Dim flöde (FDK I-flöde)		H/W= 1,5, 10000 träd	3,3 m/s	Fr>0,3	Större sårbarhet

Den sammanvägda bedömningen ger att åtgärd kommer krävas för hög- respektive extremflöde. Åtgärdsbedömning ges i kapitel 3.

3 Åtgärdsanalys för Skallböle kraftverk

I detta kapitel redovisas åtgärdsanalys för Skallböle utförd i enlighet med metoden beskriven i kapitel 5 i huvudrapporten. Observera att den enbart skall ses som exempel som kan användas som stöd och ej som fulländad åtgärdsanalys för anläggningen.

3.1 STEG 1 – GENOMGÅNG AV MÖJLIGHET OCH LÄMPLIGHET FÖR OLIKA ÅTGÄRDER

För att göra ett första urval av vilka åtgärder som kan användas för Skallböle kraftverk värderas parametrarna i Tabell 1 och Tabell 2, se nedan.

1. Värdering genomförs av fördelar och nackdelar för respektive åtgärd.
2. Värdering av lämpligheten för åtgärden individuellt mot givna parametrar.
3. Åtgärdens möjlighet till användning för Skallböle kraftverk listas, JA eller NEJ.

Tabell 7 Hanterande åtgärder för Skallböle

Hanterande åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
Avskogning (A)	Trädlängd vs utskovslängd kan hållas <1, vilket kan generera förbiledning. Ingen risk för igensättning finns.	Underhållsarbete ökar. För Skallböle magasin kommer ca 55 000 träd behöva avverkas och underhållsarbetet för detta ökar kraftigt.	Ja, men kräver anmälan till myndigheten. Arealen är oerhört stora och kräver stort arbete i åtgärd och underhåll. Miljömässiga aspekter måste beaktas.	JA
Rensning magasin (R)	Stödesjön har en begränsad sektion ca 1 km uppströms anläggningen, vilken borde kunna nyttjas som rensningsläge.	Underhållsarbete ökar, stora areal att hantera. Ekologiska faktorer ogynnsamma även om drivgods-eliminering skapas.	Ja, men inte som enda enskild åtgärd. Vid viss sårbarhet krävs en kombination med avskogning.	JA
Planerad användning av maskiner (M)	Tillfartsvägar från båda håll samt möjlig överfart över anläggningens brobana är möjlig för fordon.	Större mängder drivgods är ej möjligt att hantera då det ej finns uppställningsplats eller körbar bro för tyngre fordon.	En svår åtgärd med tanke på antalet träd som kan transporteras till Skallböle. Uppemot 55000 träd där 10000 av dessa har en längd som överstiger 1,5 x utskovets bredd vid extremflöde. Dock är åtgärden möjlig efter ett inträffat högflöde då vattenhastigheterna minskat.	JA, men inte i akut läge.

Hanterande åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
Utskovsreglering (U)	Synkroniserad utskovsöppning är möjlig med personal på dammen.	Tröskelläget är medeldjupet, vilket gör att det finns en begränsning när drivgodset börjar dyka.	Modellförsök för Skallböle har visat att vid synkroniserad utskovsöppning kan drivgodsmatta skapas vid hög flöde (mellan FDK II och 1000 års flöde). Dock är detta ej möjligt vid extremflöde.	JA
Förbildning (F)	Om avskogning sker kan förbildning ske kontrollerat för Skallböle kraftverk.	Matfors kraftverk har mindre breda utskov. Problemet flyttas nedströms.	Anses ej vara möjlig för Skallböle som enda åtgärd. Kräver en kombination med avskogning, rensning och hantering ur ett älvperspektiv.	NEJ

Tabell 8 Fysiska åtgärder för Skallböle

Fysisk åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
Nät/läns	Stödesjön innehar ett stort magasin med låga vattenhastigheter.	Mellan Skallböle kraftverk och Stödesjön finns en 1 km lång älvsträcka. Vattenhastigheterna är höga vid högt flöde.	Ej lämplig: För höga vattenhastigheter in mot anläggningen. Läns eller nät kan placeras i Stödesjön, men då elimineras ej hela området.	NEJ
Galler/visir	Avbördningsanordningen är kompakt och enhetlig. Konstruktionsmässigt bör en och samma konstruktion kunna appliceras för åtgärd.	Konstruktionen måste byggas in i befintlig konstruktion vilket gör att konstruktionsmässiga villkor måste uppfyllas. Eftersom drivgodsmatta skapas måste kompletterande hantering med maskiner också skapas. Ingen uppställningsplan finns.	Konstruktionsmässig möjlig lösning för Skallböle, men visiret blir stort. I kombination av rensning med maskiner samt möjliga konstruktionsmässiga villkor.	JA
Drivgodsfällor	Stödesjöns utlopp kan möjliggöras för	Mellan Skallböle kraftverk och	Tveksam lösning: Kräver tvärströmmar för att	NEJ

Fysisk åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
	ev. drivgodsfälla. Gynnsamma parametrar.	Stödesjön finns en 1 km lång älvsträcka. Potentiellt drivgods finns i stor utsträckning i denna älvsträcka.	fungera, vilka måste skapas. I Stödesjön samt ca 500 meter uppströms Skallböle kan dessa skapas. Dock elimineras inte hela problemet. Maskinell insats krävs.	
Desarmera konstruktionsdetaljer	Ej tillämplig	Ej tillämplig	Ej tillämplig	NEJ
Kantstolpar / Kantkonstruktioner	Uppströms Skallböle avbördningsanordning kan styrande element appliceras men djupet är stort. Flytkonstruktioner kanske möjliga.	Höga vattenhastigheter och djupt område.	Tveksam lösning: Matfors kraftverk har ej möjlighet att ta hand om drivgodset.	NEJ
Breddning av utskov	Det är fysiskt möjligt att bredda utskov till en bredd överstigande trädlängd i magasin.	Stort ingrepp. Kräver en kombination av bredd och visst djup ned till tröskeln. Utskovet får således en hög avbördningskapacitet. Redundans kan bli ett problem.	Konstruktionsmässig möjlig lösning för Skallböle, men det kräver omfattande ombyggnationer.	JA
Höjning av broar och brobanor	Ej tillämplig	Ej tillämplig	Ej tillämplig	NEJ
Sänkning tröskel/ ökning överfallshöjd	Det är fysiskt möjligt att sänka trösklarna till utskoven.	Stort ingrepp. Kräver en kombination av visst djup ned till tröskeln och bredd på utskoven. Utskoven får således en hög avbördningskapacitet. Redundans kan bli ett problem.	Konstruktionsmässig möjlig lösning för Skallböle, men det kräver omfattande ombyggnationer.	JA
Deflektorer	Uppströms Skallböle avbördningsanordning kan styrande element appliceras men djupet är stort.	Höga vattenhastigheter och djupt område.	Tveksam lösning: Matfors kraftverk har ej möjlighet att ta hand om drivgodset.	NEJ

Fysisk åtgärd	Fördelar	Nackdelar	Lämplighet/parametrar att väga in	Möjlighet att använda för given anläggning (JA/NEJ)
	Flytkonstruktioner kanske möjliga.			
Bottenutskov	Det är fysiskt möjligt att bygga nya bottenutskov i Skallböle.	Stort ingrepp.	Konstruktionsmässig möjlig lösning för Skallböle, men det kräver omfattande ombyggnationer.	JA

3.2 STEG 2 – VÄRDERING AV ÅTGÄRDERNAS PÅVERKAN PÅ SÅRBARHETEN FÖR ANLÄGGNINGEN

När lämpligheten är värderad görs en sårbarhetsbedömning för de åtgärder som är av relevans för Skallböle kraftverk. När sårbarhetsbedömningen genomförs fylls Tabell 3 och Tabell 4 i nedan och instruktionen används i sin helhet.

- 0-läget fylls i för Skallböle kraftverks sårbarhet.
- Tabell 3 och Tabell 4 fylls i avseende om åtgärden är tillämpbar för anläggningen. Tabell 1 och Tabell 2 används för överföring av data.
- Värdering görs för respektive möjlig åtgärd för de tre faktorerna; drivgods, transport och igensättning/dykning. Vilken påverkan får åtgärderna individuellt samt i kombination med andra?
- Värdering görs för den sammanvägda sårbarheten för respektive applicerad åtgärd eller i kombination.
- Värdering görs med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
- En sammanvägd sårbarhetsbedömning görs per flöde och värderas med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
- Resultatet presenteras av ifylld Tabell 3 och Tabell 4 för Skallböle kraftverk.
- En beskrivning av lämpligheten för åtgärd/åtgärderna i text görs. Krävs det förstudier, kontakt med berörd myndighet etc. för att applicera åtgärden och minska sårbarheten?

Tabell 9 Sammanvägd bedömning av möjliga åtgärder och dess påverkan på sårbarheten för Skallböle kraftverk

Åtgärder	Möjlig att tillämpa (JA/NEJ eller i kombination med)	Drivgods	Transport	Igensättning/dykning	Sammanvägd sårbarhet
O-läge: Sårbarhet utan åtgärd					
Avskogning (A)	JA				
Rensning av magasin (R)	JA				
Planerad användning av maskiner (M)	JA				
Utskovsreglering (U)	JA				
Förbildning (F)	NEJ				
Nät/Läns (N)	NEJ				
Galler/visir (G)	JA				
Drivgodsfällor, biflöde (I)	NEJ				
Drivgodsfällor, tvärströmmar (D)	NEJ				
Desarmera konstruktionsdetaljer (E)	NEJ				
Kantstolpar/Kantkonstruktioner (K)	NEJ				
Breddning av utskov (B)	JA				
Höjning av broar och brobanor (H)	NEJ				
Sänkning tröskel/ökning överfallshöjd (S)	JA				
Deflektorer (L)	NEJ				
Bottenutskov (T)	JA				
Kombination 1 (A, R, M)	JA				
Kombination 2 (B, S, T, M)	JA				
Kombination 3 (G, M)	JA				

Tabell 10 Sammanvägd bedömning av möjliga åtgärder och dess påverkan på sårbarheten för Skallböle kraftverk

Åtgärder	Möjlig att tillämpa (JA/NEJ eller i kombination med)	Normal-flöde	FDK II-flöde	Dim flöde (FDK I-flöde)
O-läge: Sårbarhet utan åtgärd				
Avskogning (A)	JA			
Rensning av magasin (R)	JA			
Planerad användning av maskiner (M)	JA			
Utskovsreglering (U)	JA			
Förbildning (F)	NEJ			
Nät/Läns (N)	NEJ			
Galler/visir (G)	JA			
Drivgodsfällor, biflöde (I)	NEJ			
Drivgodsfällor, tvärströmmar (D)	NEJ			
Desarmera konstruktionsdetaljer (E)	NEJ			
Kantstolpar/Kantkonstruktioner (K)	NEJ			
Breddning av utskov (B)	JA			
Höjning av broar och brobanor (H)	NEJ			
Sänkning tröskel/ökning överfallshöjd (S)	JA			
Deflektorer (L)	NEJ			
Bottenutskov (T)	JA			
Kombination 1 (A, R, M, F)	JA			
Kombination 2 (B, S, T, M)	JA			
Kombination 3 (G, M)	JA			

Sammanvägd bedömning

Den sammanvägda bedömningen för hanterade åtgärder är att det finns två val att göra;

1. Avskogning, rensning och användande av maskiner. 55 000 träd måste avverkas, arealen skall underhållas kontinuerligt och vattendraget skall patrulleras och rensas med jämna mellanrum. Om dessa åtgärder kombineras kan förbildning ske. Förbildning kommer dock påverka nedanförliggande anläggning Matfors, som har en mindre bredd på utskoven än Skallböle. Åtgärden kräver en älvperspektivsbedömning kombinerat med nyttobedömning ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Åtgärden bör initialt diskuteras med berörd myndighet.
2. Utskovsreglering upp till FDK II-flöde anses som en bra åtgärd och kan eliminera dykning. Bedömningen är att beredskapsplanen måste prepareras för att hantera

synkroniserad utskovsöppning upp till FDK II-flöde. Därtill bör planering av användandet av maskiner vid återgång till normalflöde beskrivas i beredskapsplanen.

Den sammanvägda bedömningen för fysiska åtgärder är att det finns två val att göra och där val nr 1 är en större konstruktionsmässig åtgärd (ombyggnad) och val nr 2 är en stödkonstruktionsåtgärd;

1. Ombyggnad (Breddning av utskov, sänkning av tröskel/ökning överfallshöjd eller bottenutskov). Åtgärden kräver en nyttobedömning ur ett ekonomiskt perspektiv. Åtgärderna bör initialt belysas i en förstudie.
2. Stödkonstruktioner (visir). Åtgärden kräver en nyttobedömning ur ett ekonomiskt perspektiv. Åtgärderna bör initialt belysas i en förstudie

Slutsats

Lämpligheten för val av kombinationer och slutgiltig lösning bör värderas vidare i en förstudie efter att älvperspektivet har beaktats, se kapitel 1.3.

3.3 STEG 3 - VÄRDERING AV ÅTGÄRDERNAS PÅVERKAN PÅ SÅRBARHETEN FÖR ÄLVEN

Steg 3 beskrivs bara översiktligt och har ej närmare analyserats i detalj. Ett samordnat möte har ej skett för att analysera Skallböle kraftverk som exempel.

Följ nedanstående instruktion och genomför värdering av åtgärdernas påverkan på sårbarheten för älven.

1. Respektive dammägare har använt Tabell 3 & Tabell 4 som stöd från respektive bedömning av anläggning i älven.
2. Ett samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån genomförs. En helhetsbild kan endast skapas om dammägare går samman och hanterar problematiken tillsammans.
3. Efter genomfört samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån krävs en djupdykning i steg 2 igen, punkt 6-13. En anläggning som tidigare varit grön kan under en dialog för älven/ån hamna som röd. Alla dessa faktorer måste vägas ihop för att sätta den slutliga bedömningen för sårbarheten med applicerad åtgärd. Iterera.
4. Tabell 5 samt anläggnings-specifika Tabell 3 och Tabell 4 används. Nomenklaturförkortningar avseende åtgärder fylls på under respektive påverkansart; drivgods, transport eller igensättning/dykning. Gör en sammanvägd sårbarhetsbedömning per anläggning och värdera med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
5. Diskutera möjliga optimeringslösningar av hela vattendraget och värdera den minskade sårbarheten avseende drivgods för samtliga punkter i metodiken 1-11. Använd Efter genomfört samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån krävs en djupdykning i steg 2 igen, punkt 4-11. En anläggning som tidigare varit grön kan under en dialog för älven/ån hamna som röd. Alla dessa faktorer måste vägas ihop för att sätta den slutliga bedömningen för sårbarheten med applicerad åtgärd.

6. Använd Tabell 5 som stöd i urvalsprocessen av lämpliga åtgärder.
7. Gör en total sammanvägd sårbarhetsbedömning för optimalt sammanvägt åtgärds paket och värdera med färgkod (grön – liten sårbarhet för drivgods, gul – viss sårbarhet för drivgods samt röd – större sårbarhet för drivgods).
8. Beskriv lämpligheten för den kombinerade åtgärden i text och vad som behöver genomföras för att erhålla önskat resultat. Krävs det förstudier, kontakt med berörd myndighet etc. för att applicera åtgärden och minska sårbarheten?
9. Efter genomfört samordnat möte för samtliga dammägare i älven/ån krävs en djupdykning i steg 2 igen, punkt 4-11. En anläggning som tidigare varit grön kan under en dialog för älven/ån hamna som röd. Alla dessa faktorer måste vägas ihop för att sätta den slutliga bedömningen för sårbarheten med applicerad åtgärd.

Tabell 11 Sammanvägd slutbedömning av möjliga åtgärder och dess påverkan på sårbarheten i ett älv perspektiv

Älven/Anläggning	Drivgods	Transport	Igensättning/ dykning	Sammanvägd sårbarhet
Nederede kraftverk				F, B
Skallböle kraftverk				U, S
Matfors kraftverk	A, R		G	G

Slutsats: Lämpligheten för val av kombinationer och slutgiltig lösning bör värderas vidare i en förstudie ur ett älvperspektiv. Därefter bör anläggningens enskilda förstudie genomföras för att skapa en helhetsanalys inför genomförande av åtgärd.

METOD FÖR ANALYS OCH HANTERING AV DRIVGODS

Här beskrivs en metod för sårbarhetsanalys och hantering av drivgods vid dammanläggningar. Drivgods är exempelvis träd och buskar, drivved, bäverdammar, sjunktimmer, bryggor, båtar och ensilagebalar.

Metoden kan användas för att analysera och kategorisera dammanläggningars sårbarhet för drivgods och ge vägledning för att prioritera och välja bland eventuella åtgärder.

Det handlar om att bedöma förutsättningar för att drivgods ska uppkomma, exempelvis genom erosion, skred, översvämning och höga flöden som drar med sig föremål som redan finns i eller intill vattendraget. Förutsättningen för att drivgodset ska kunna transporteras till anläggningen beroende på vattenhastighet måste också bedömas, liksom

förutsättningen för att drivgodset ska kunna fastna i utskovet och dras ned mot utskovströskeln.

För att prioritera åtgärder ska sårbarhet för anläggningar uppströms och nedströms också vägas in tillsammans med dammsäkerhetsklass, anläggningens betydelse för flödeshantering i älvsystemet, tillgång till bottenutskov med mera.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se