

ÖKAD AVBÖRDNINGSFÖRMÅGA

RAPPORT 2017:422



Ökad avbördningsförmåga

En kunskapssammanställning

HANNA PORTIN

ISBN 978-91-7673-422-3 | © ENERGIFORSK augusti 2017

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

Förord

Rapporten har tagits fram inom Energiforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsprogram med medverkan från vattenkraftföretagen och Svenska kraftnät. Syftet med projektet var att sammanställa kunskap kring nya utskovstyper och metoder att öka avbördningskapacitet.

En referensgrupp bestående av medlemmar från det Dammsäkerhetstekniska utvecklingsprogrammets styrgrupp har medverkat i projektet. Referensgruppen har utgjorts av Sara Sandberg (Energiforsk), Nils Isaksson (Svenska Kraftnät), Romanas Ascila (Vattenfall), Peter Viklander (Vattenfall), Anders Isander (Uniper) och Gunnar Sjödin (Vattenregleringsföretagen).

WSP:s arbetsgrupp har bestått av Stina Åstrand (uppdragsledare), Hanna Portin (handläggare), Rohan Sutton (handläggare), Patrik Andersson (arbetsgrupp), Andreas Halvarsson (arbetsgrupp), Håkan Bond (arbetsgrupp), Åke Nilsson (arbetsgrupp), Marco Alicera (arbetsgrupp) och Elaheh Etemadi (arbetsgrupp).

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.

Sammanfattning

Behovet av att öka avbördningskapaciteten för befintliga dammanläggningar har varit ett stort fokusområde inom dammsäkerhet över hela världen på senare tid. Detta beror dels på risk för ökande beräknade extremflöden, dels på frågor kring tillförlitlighet hos traditionella luckutskov. I Sverige används idag endast ett fåtal av de alternativa avbördningsmetoder som finns tillgängliga världen över.

Denna rapport innehåller en kunskapssammanställning av alternativa sätt att öka avbördningsförmågan för en vattenkraftsanläggning. Rapporten ger en översiktlig bild av de olika avbördningsmetodernas för- och nackdelar och beskriver översiktligt metodernas tillämpbarhet i Sverige.

De olika metoderna lämpar sig olika väl beroende på dammanläggningens specifika förutsättningar och beroende på vad anledningen till behovet att förändra anläggningens avbördningsystem är. Ingen av metoderna passar för att tillgodose alla möjliga behov och förutsättningar.

Utmärkande för svenska förhållanden är det kalla vinterklimatet. Ett antal av de metoder som beskrivits i denna rapport är eller kan vara känsliga för igenfrysning. Huruvida detta blir ett problem vid tillämpning av dessa metoder i Sverige beror på under vilken period på året metoden är tänkt att användas och om det är möjligt att förändra utformningen på ett sådant sätt att problemet försvinner. I en del fall kan det vara möjligt att utskovet hinner tina upp innan det ska tas i bruk eller så kan problemet lösas med isfrihållning.

En annan sak som är utmärkande, men inte unik, för svenska förhållanden är att dammarna ligger på rad i ett vattendrag i större utsträckning än i många andra länder. Detta gör att metoder där flödesstegringen är mycket snabb kan vara olämplig för vissa dammanläggningar. Gradvis öppning av luckorna kan vara eftersträvarvärt eller nödvändigt i vissa fall.

Inga generella slutsatser gällande tillämpning i svenska förhållanden kan dras utifrån litteraturstudien. Detta beror bland annat på att litteratursökningen har gett olika mycket resultat för olika metoder och aspekter. För att få en bättre bild skulle intervjuer med dammägare, där de olika metoderna som har anläggningar där de olika metoderna redan tillämpats i svenska förhållanden, kunna göras. En möjlighet är också att göra en utökad litteratursökning med inriktning mot Norge, Kanada och andra länder som har liknande klimat som Sverige.

Summary

The need to increase discharge capacity for existing dams, in recent times, has been a major dam safety focus worldwide, due to risk of increasing extreme flood estimates and greater appreciation of dam safety risks, for example, reliability of traditional gated structures. Only a few of the alternate methods to safely pass flood flows that have been developed worldwide are currently used in Sweden.

This report is a compilation of knowledge about alternate methods to increase discharge capacity for existing hydropower dams. The report gives an overview of the common methods, their advantages and disadvantages and a brief description of their suitability to Swedish conditions.

The most suitable method varies depending on specific conditions for the dam and the intended function for the discharge capacity increase. None of the methods are suitable for all needs and conditions.

The dominate characteristic for Swedish conditions is the cold winter climate. A number of the methods that have been described in this report are or could be sensitive to low temperatures. Whether this will be an issue in their applicability in Sweden or not, depends on timing during the year when the method must be operated and if there are possibilities to modify the design in a way that the low temperatures can be managed. In some cases it is probable that the spillway will thaw before use and in others cases it could be addressed with heating and/or other devices that prevent the water from freezing.

Another important characteristic, but not unique, feature for Swedish conditions is that dams are often located close to each other, in the same river. This means that methods with rapid increase in discharge could be inappropriate for some dams. Gradual increase in discharge could be desirable or necessary.

No general conclusions, about the applicability in Swedish conditions, can be extracted from the literature study because it was difficult to find specific information about how the different methods and aspects is affected by Swedish conditions. Interviews with dam owners with knowledge about the different methods in Swedish conditions and an extended literature study with orientation towards Norway, Canada and other countries with similar climate to Sweden could further improve the understanding about the methods.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Syfte och mål	7
1.2	Litteraturstudie	7
1.3	Avgränsningar	8
1.4	Rapportens upplägg	9
2	Översikt över metoder att för att öka avbördningsförmågan för befintliga anläggningar	10
2.1	Hydrauliska aspekter	10
2.2	Konstruktionsaspekter	13
2.3	Drift- och underhållsaspekter	14
2.4	Svenska förhållanden	15
3	Beskrivning av metoder att öka avbördningsförmågan	16
3.1	Eroderbar dammdel (Fuse plug)	16
3.2	Fuse Gate	19
3.3	Passiva luckor	21
3.4	Hävertutskov	25
3.5	Bottenutskov	28
3.6	Utskov i sidokanal	30
3.7	Labyrintutskov	33
3.8	Schaktutskov	36
3.9	Överströmningsbar dammdel	38
3.10	Övriga metoder	41
3.11	Jämförelse mellan olika avbördningsmetoder	42
4	Energiomvandling	45
4.1	Trappstegsformad utskovskanal (Stepped spillway)	45
5	Diskussion	48
6	Förslag till fortsatt arbete	50
7	Referenser	51

1 Inledning

Behovet av att öka avbördningskapaciteten för befintliga dammanläggningar har varit ett stort fokusområde inom dammsäkerhet över hela världen på senare tid. Detta beror dels på risk för ökande beräknade extremflöden, dels på frågor kring tillförlitlighet hos traditionella luckutskov. Utöver konventionella utskovskonstruktioner har mycket arbete riktats mot att utveckla alternativa metoder för att på ett säkert sätt kunna släppa fram högflöden och många fallstudier av icke-konventionella strukturer byggda och i bruk runt om i världen finns.

Utvecklingen av alternativa avbördningsmetoder har gjorts med hänsyn till en kombination av faktorer och begränsningar för både nya dammar och ombyggnad av befintliga dammanläggningar. Dessa inkluderar fysiska platsbegränsningar (topografi, geologi, miljö, etc.), påverkan uppströms och nedströms, och kritiskt begränsande bygg- och driftskostnader.

Syftet med att förändra avbördningsanordningarna för en dammanläggning varierar. Det kan till exempel handla om att anläggningens avbördningskapacitet behöver ökas, att möjlighet till att sänka av magasinet behövs eller att tillförligheten behöver förbättras. Det finns även andra möjliga bakomliggande orsaker till behovet av att förändra en anläggnings avbördningsystem. I många fall är syftet och orsaken till att avbördningsystemen behöver förändras en kombination av olika saker.

I Sverige används idag endast ett fåtal av de alternativa avbördningsmetoder som finns tillgängliga världen över och det finns ingen svenskspråkig sammanställning. Eftersom många av metoderna inte har tillämpats i Sverige, tidigare finns även ett behov av att belysa hur de olika metoderna fungerar i svenska förhållanden (t.ex. vinterförhållanden).

Fokus för detta projekt har varit på metoder som kan användas för att öka en befintlig dammanläggnings avbördningskapacitet.

1.1 SYFTE OCH MÅL

Syftet med denna rapport är att sammanställa kunskap kring de utskovstyper och metoder att öka avbördningskapaciteten i en befintlig anläggning, som kan betraktas som "nya" ur ett svenskt perspektiv.

Målet med rapporten är att den ska ge en översiktlig bild av olika avbördningsmetoder, för- och nackdelar med metoderna samt översiktligt beskriva metodernas tillämpbarhet i Sverige.

1.2 LITTERATURSTUDIE

Uppdraget har utförts som en litteraturstudie och resultatet har sammanställts i denna rapport. Många av de metoder att öka avbördningskapaciteten, som kan betraktas som "nya" ur ett svenskt perspektiv, har sedan länge använts i andra

delar av världen, vilket gör att de flesta finns utförligt beskriva i böcker och artiklar på engelska.

Rapporten baseras i huvudsak på tre källor:

1. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2014, Design Standards No. 14 Appurtenant Structures for Dams (Spillways and Outlet Works) Design Standard. Chapter 3: General Spillway Design Considerations.
En teknisk vägledning, skriven av U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, där tillvägagångssätt för analys och design av olika avbördningsmetoder beskrivs.
2. Khatsuria, R.M., 2005, *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*, Marcel Dekker, ISBN: 0-8247-5789-0.
En bok som beskriver olika metoder; historia, avbördningskaraktär, beräkningsformler etc.
3. ICOLD Committee on Hydraulics for Dams, 2012, Bulletin 142 on Safe Passage of Extreme Floods.

Övriga referenser återfinns i kapitel 7. De delar som saknar referenshänvisning ska ses som WSP:s bedömningar.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Litteraturstudien har främst fokuserat på de delar av utskovet som bestämmer hur stort flöde som kan tappas genom utskovet d.v.s. kontrollstrukturen. Energiomvandling har endast behandlats översiktligt för de beskrivna metoderna. Trappstegsformade utskovskanaler (*stepped spillways*) har inkluderats i litteraturstudien efter önskemål från referensgruppen. Trappstegsformade utskov kan kombineras med olika typer av kontrollstrukturer och är främst en utrymmesbesparande och kostnadseffektiv metod för att lösa energiomvandlingen för ett nytt eller befintligt utskov och inte primärt ett sätt att öka avbördningskapaciteten. Eftersom syftet med projektet har varit att beskriva metoder för att öka vavbördningskapaciteten beskrivs inte fler metoder för energiomvandling.

I Sverige är ytutskov, där strömning generellt sker med fri vattenyta, vanligt förekommande. Utformningen kan se ut på olika sätt, till exempel breda, skarpkantade och rundade överfall. Olika typer av överfallsutskov dvs. ytutskov (med och utan lucka) och bypass beskrivs i en mindre omfattning i rapporten under rubriken Övriga metoder (se kapitel 3.10).

Detaljnivån för rapporten har begränsats till en översiktlig nivå.

Sedimentation och jordbävningar är faktorer som inte anses vara vanligt förekommande problem i Sverige och har därför inte beskrivits i denna rapport. Risken för sabotage har inte behandlats i denna rapport, men behöver beaktas i valet av avbördningsmetod. Andra sätt att hantera höga flöden, såsom ökad magasinerings-/avbördningsförmåga genom höjning av dammar, har inte inkluderats i denna studie.

Inga intervjuer har utförts inom ramen för uppdraget.

1.4 RAPPORTENS UPPLÄGG

Rapporten inleds med en översiktlig beskrivning av vilka olika typer av avbördningsmetoder, som finns tillgängliga för att öka avbördningskapaciteten, samt olika faktorer som påverkar valet av avbördningsmetod för en anläggning (kapitel 2). Därefter presenteras de olika avbördningsmetoderna var för sig i kapitel 3.1-3.9. I kapitel 3.10 återfinns en kortare beskrivning av de metoder som endast beskrivits i mindre omfattning i denna rapport. En jämförelse mellan de olika metoderna, baserat på den information som presenteras i kapitel 3.1- 3.10, presenteras i tabeller i kapitel 3.11. All information, som presenteras i tabellerna i kapitel 3.11, finns även i kapitlen för respektive metod. I kapitel 4 presenteras en metod för att lösa energiomvandling på ett utrymmesbesparande och kostnadseffektivt sätt. Rapporten avslutas med en diskussion av arbetet (kapitel 5) samt rekommendationer till fortsatt arbete (kapitel 6).

2 Översikt över metoder att för att öka avbördningsförmågan för befintliga anläggningar

Att dela in avbördningsystem i olika kategorier, utifrån när de är avsedda att användas, vilken som är den mest dominerande konstruktionsdelen (så som tunnelutskov, hävertutskov, labyrintutskov etc.) eller på vilket sätt reglering sker, kan vara till hjälp i valet av avbördningsystem/avbördningsanordningar för en anläggning. Nedanstående lista på olika avbördningsanordningar baseras på den mest dominerande konstruktionsdelen. Uppdelning har vidare gjorts på utskov och energiomvandling.

Utskov

- Eroderbar dammdel (Fuse plug)
- Fuse gate
- Passiva luckor
- Hävertutskov
- Bottenutskov
- Utskov i sidokanal
- Labyrintutskov
- Schaktutskov
- Överströmningsbar dammdel
- Olika typer av överfallsutskov
- Bypass

Energiomvandling

- Trappstegsformad utskovskanal

Det finns många olika faktorer som påverkar vilken typ av avbördningsanordning som lämpar sig bäst för en dammanläggning och hur den bör konstrueras för att fungera på ett bra sätt. Några av dessa är platstillgång, när utskovet är tänkt att användas, storleken på det dimensionerande flödet etc. I denna rapport har de olika faktorerna delats in i fyra kategorier; hydrauliska aspekter, konstruktionsaspekter, drift- och underhållsaspekter samt svenska förhållanden. En kort beskrivning av de faktorer, som valts ut för denna litteraturstudie, återfinns i kapitel 2.1- 2.4. Indelningen mellan kategorierna är inte absolut, eftersom flera av faktorerna kan tillhöra flera av kategorierna. Till exempel kan drivgodts vara både en hydraulisk aspekt och en drift- och underhållsaspekt.

2.1 HYDRAULISKA ASPEKTER

2.1.1 Ordinarie utskov eller reservutskov

Generellt kan avbördningsystem delas in i två olika kategorier utifrån när de är avsedda att användas. Den första kategorin omfattar utskov avsedda för reglering av normala flöden, det vill säga ordinarie utskov. Den andra kategorin,

reservutskov, är utskov avsedda för reglering vid flöden som sker mer sällan eller vid nödsituationer under extrema händelser med fokus på dammsäkerhet.

Metoderna i kategorin reservutskov bygger ofta på passiv manöver, men i vissa fall bygger metoden på att en del av utskovet förstörs (t ex eroderbara dammdelar av jord eller betong) och behöver återuppbyggas när flödessituationen är över. Möjligheter till varierande reglering (t ex aktiv dämpning) blir begränsad för dessa typer.

2.1.2 Avbördningskapacitet

Hur stor avbördningskapaciteten för ett utskov är, beror bland annat på hur det är placerat i dammen och i förhållande till strömningsriktningen, utskovets geometri och ytråhet samt om utskovet påverkas av motdämning. Kontrollstrukturen, d.v.s. den bestämmande delen, har olika geometrisk utformning för olika avbördningsmetoder och är därför olika gynnsam för avbördning. För en del avbördningsmetoder, till exempel schaktutskov, ökar avbördningskapaciteten långsammare när schaktet går fullt, eftersom avbördningen övergår från att kontrolleras av en tröskel till att kontrolleras av schaktets tvärsnittsarea. Avbördningskapaciteten kan också påverkas av yttre faktorer såsom drivgods (se kapitel 2.1.7).

För de olika metoderna anges i denna rapport hur stor avbördningskapaciteten är på en skala från **liten** till **mycket stor**, där **liten** är $\leq$ ca 30 m³/s; **måttlig** är $>$ ca 30 m³/s till $\leq$ ca 700 m³/s; **medel** är $>$ ca 700 m³/s till $\leq$ ca 1400 m³/s; **stor** är $>$ ca 1400 m³/s till $\leq$ ca 2800 m³/s; och **mycket stor** är $>$ ca 2800 m³/s. Skalan avser potentiell avbördningskapacitet, och kan användas för att få en översiktlig jämförelse mellan olika utskovstyper. Indelningen baseras på U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation inventering av utskov [1]. Hur stor den verkliga avbördningskapaciteten blir och hur stor ökningen i avbördningskapaciteten blir för olika metoder varierar från anläggning till anläggning eftersom förutsättningarna är olika.

2.1.3 Påverkan uppströms

Området uppströms anläggningen kan påverkas om vattenytan höjs snabbt, till exempel på grund av att avbördnings effektiviteten minskar eller att planerad aktivering/reglering uteblir. Vissa metoder medför en möjlighet att sänka av magasinet för till exempel underhåll eller vid driftsbegränsningar, medan andra metoder medför en risk för snabb avsänkning, till exempel om en fuse plug aktiveras i förtid. Uppströmsförhållandena kan även påverkas av att metoden medför en ökad möjlighet till magasinering eller en risk för minskade möjligheter till magasinering vid aktivering.

2.1.4 Påverkan nedströms

Snabba flödesförändringar kan medföra att människor överraskas och i värsta fall skadas. Om det finns dammanläggningar nedströms är det viktigt att dessa kan avbörda det flöde som kommer och att reglering av de anläggningarnas

avbördningssystem kan ske tillräckligt snabbt så att inte dessa anläggningar överströmmas.

2.1.5 Energiomvandling

I utskov accelereras vattnet och har vanligtvis en hög hastighet när det lämnar utskovet. För att förhindra att erosion av nedströmsområdet förses utskovet normalt med någon typ av energiomvandlare som omvandlar vattnets rörelseenergi. Detta kan göras på olika sätt, till exempel genom vattensprång i en stötbotten eller med hjälp av utkastare. De olika avbördningsmetoderna gör att vattnet accelereras olika mycket och för en del av metoderna görs en del av energiomvandlingen redan innan vattnet lämnar utskovet, t ex med uppkastare på skibordets nedströmsdel.

2.1.6 Kavitation

Kavitation kan uppstå i områden där trycket varierar kraftigt samtidigt som vattenhastigheten är hög. Kavitation kan leda till att konstruktionen skadas. När kavitationsskador har börjat uppträda accelereras ofta processen, eftersom ojämnheter i ytan ökar risken för kavitation. Vid långa flödessituationer kan kavitation medföra stora skador, som i vissa fall kan bli ett problem för dammsäkerheten. Det finns flera sätt att minska risken för kavitation, till exempel kan utskovet i vissa fall konstrueras på ett sådant sätt att risken för kavitation minskar. Ett annat sätt kan vara luftning av vattnet, där ett lager av luftbubblor intill betongytan minskar trycket som kommer från de chockvågor bildas när ång- eller gasbubblor imploderar i vattnet.

2.1.7 Igensättning av drivgods och is

Drivgods kan bestå av träd, buskar, flyttorv, sjunktimmer och mänskliga konstruktioner såsom bryggor, båthus, båtar, is och liknande som kommer flytande i vattendraget. Hur stor drivgodsproduktionen är beror bland annat på hur mycket potentiellt drivgods som finns i området, släntlutningar, stormar, högflöden och hur erosionsbenägna vattendragets stränder är.

Hur känslig en anläggning är för drivgods beror, förutom på hur stor drivgodsproduktionen är, på vilka förutsättningar som finns för att transportera drivgods till anläggningen samt vilka förutsättningar som finns för att släppa förbi drivgods vid anläggningen utan att igensättning eller dykning sker. Olika avbördningsmetoder är olika gynnsamma ur detta hänseende. En del metoder kan vara olämpliga, där det finns hög risk för att drivgods transporteras till anläggningen. För andra anläggningar kan samma metod vara tänkbar, om de platsspecifika förutsättningarna gör att drivgods kan hanteras på andra sätt, till exempel genom byggåtgärder såsom länsar, drivgodsfallor eller galler/visir.

Is kan sätta igen utskov genom att isflak ansamlas vid utskoven eller genom att olika delar fryser igen så att reglering inte kan ske på avsett vis.

2.2 KONSTRUKTIONASPEKTER

2.2.1 Grundläggning

Ett utskov kan grundläggas på både jord och berg, men om det finns möjlighet till grundläggning på berg är det att föredra, eftersom en grundläggning på jord är mer osäker [1].

2.2.2 Lokalisering

Topografi, geologi och läge i förhållande till övriga dammdelar kan vara avgörande för var det lämpar sig att anlägga ett (nytt) utskov. Topografi och geologi är avgörande för hur stora massor som behöver schaktas bort vid byggnation och vilka grundläggningsmöjligheter som finns. Förhållandet till övriga dammdelar kan påverka lokalisering, till exempel måste andra dammdelar vara skyddade vid aktivering av en eroderbar dammdel.

2.2.3 Platsåtgång

Hur mycket plats, som finns att ta i anspråk för att bygga ett nytt utskov eller bygga om befintliga utskov, varierar från anläggning till anläggning. För de olika avbördningsmetoderna anges i denna rapport hur stor platsåtgången är på en skala från **liten** till **stor**. Denna indelning kan användas som en översiktlig jämförelse mellan de olika alternativen. Platsspecifika förutsättningar kan dock innebära avvikelser från denna skala. Bedömningen av hur stor plats som krävs har hämtats från rapporten skriven av U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation [1]. Hur stor plats som finns att tillgå kan påverka valet av avbördningsmetod. I smala och branta älvfåror lämpar sig till exempel inte långa överfallsutskov särskilt väl ur detta hänseende, medan schakt- och tunnelutskov som har mindre platsanspråk ovan mark passar bättre.

2.2.4 Befintlig damm

Om avbördningskapaciteten behöver utökas vid en befintlig damm, kan detta göras genom att bygga om befintligt utskov i dammen eller anlägga ett nytt utskov vid sidan om den befintliga dammen. De olika avbördningsmetoderna lämpar sig olika väl för att kombineras med jord- och betongdammar.

2.2.5 Uppbyggnad

Ett väl fungerande avbördningsystem kräver en god design av utskovet för att konstruktionen ska vara stabil och vara gynnsam ur ett hydrauliskt perspektiv. I denna rapport redovisas endast översiktligt hur de olika metoderna är uppbyggda. Inga konstruktionsnormer eller beräkningsekvationer finns med i rapporten. Behovet av el- och kontrollanläggning, betongarbeten, schakt- och fyllningsarbeten och mekanisk utrustning specificeras dock under denna punkt.

2.2.6 Kallt klimat

Kallt klimat kan innebära stora islaster för konstruktionerna. Det kan även medföra frysskador eller igenfrysning av funktioner som är vitala för reglering (se kapitel 2.3.5).

2.3 DRIFT- OCH UNDERHÅLLSASPEKTER

2.3.1 Möjlighet till reglering

I vattendrag, där dammanläggningar ligger tätt, är det viktigt att reglering kan ske på ett sådant sätt att dammsäkerheten för hela vattendraget kan upprätthållas. Detta kan medföra att reglering av utskoven måste kunna göras med hjälp av aktiv manöver (reglerade system, t.ex. med hjälp manuell manövrering eller fjärrstyrning av en utskovslucka) medan det för andra dammanläggningar kan räcka med att avbördning sker genom att vattennivån höjs (oreglerade system). För oreglerade system avslutas avbördningen när vattennivån sjunker igen. En annan typ av aktivering av avbördning är "*iscensatta*" metoder som aktiveras genom att vattenytan höjs och i sin tur startar en erosion eller någon annan mekanism som gör att utskovet öppnas.

2.3.2 Behov av inspektion och underhåll

Behovet av inspektion och underhåll varierar beroende på om avbördningsmetoden kräver elektrisk- och/eller mekanisk utrustning. För vissa metoder är inspektion svårt att utföra och för andra metoder är tillförlitligheten svår att säkerställa trots regelbundna inspektioner och underhåll.

2.3.3 Möjlighet till funktionsprovning

För att säkerställa funktionen för ett utskov bör funktionsprovning genomföras med jämna mellanrum. För en del av de metoder, som presenteras i denna rapport, är funktionsprovning inte möjligt och för andra är behovet inte lika stort, till exempel gäller detta överfallsutskov där rörliga delar saknas. Värt att beakta är att en hög belastning, som vid en högflödessituation, kan medföra att avbördningen fungerar på ett annat sätt och/eller att skador uppstår som inte är möjliga att upptäcka vid en funktionsprovning.

2.3.4 Behov av reparation/återställande efter användning

Behovet av reparationer eller återställande efter avbördning är olika beroende på metod. Vissa avbördningsanordningar konstrueras för att förstöras vid aktivering, medan andra konstrueras för att kunna användas upprepade gånger utan omfattande reparationer.

2.3.5 Kallt klimat

Vid låga temperaturer riskerar vitala funktioner för regleringen att frysa igen. Detta kan medföra att reglering inte kan utföras under de delar av året då

temperaturen är låg. Låga temperaturer kan också medföra skador som kan innebära ett ökat underhållsbehov.

2.4 SVENSKA FÖRHÅLLANDEN

Många de avbördningsmetoder, som presenteras i denna rapport, används redan i relativt stor omfattning i andra delar av världen och i viss omfattning i Sverige. En av de viktigaste aspekterna för svenska förhållanden är det kalla klimatet med stora islaster som kan påverka konstruktionernas stabilitet. Det kalla klimatet kan även påverka funktionen hos avbördningsystemen, t.ex. genom fastfrysning eller blockering av is.

Jämfört med många anläggningar i andra länder ligger anläggningar i svenska vattendrag ofta nära varandra och även nära bebyggelse. Detta ställer extra stora krav på att avbördningsystemen utformas på ett sådant sätt att närliggande objekt inte riskerar att skadas vid avbördnings.

Allemansrätten är en annan sak som är utmärkande för Sverige och som kan medföra en ökad risk för sabotage. Risken för sabotage behandlas inte i denna rapport, men bör beaktas vid valet av avbördningsmetod.

3 Beskrivning av metoder att öka avbördningsförmågan

3.1 ERODERBAR DAMMDEL (FUSE PLUG)

3.1.1 Beskrivning

En fuse plug är en eroderbar dammdel, som är designad för att eroderas bort på ett kontrollerat sätt när magasinsnivån stiger över en fördefinierad nivå.[2] En fuse plug kan konstrueras som en fyllningsdamm (se Figur 1) eller av betong. I det senare fallet utgörs den av betongblock, som motstår vattenlast upp till en viss magasinsnivå och sedan spolas bort.[3]

När dammdelen eroderat bort ska öppningen i båda fallen fungera som ett utskov med fast tröskel. Vanligtvis används eroderbara dammdelar som nödutskov och de är ett alternativ för att öka avbördningskapaciteten med hänsyn till extremflöden. Denna metod är i princip ett kontrollerat dammhaveri, som syftar till att skydda resten av dammen från överströmning [2].



Figur 1 Eroderbar dammdel¹

¹ <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/525595>

3.1.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** En eroderbar dammdel bör endast användas för att avbörda flöden med lång återkomsttid. Andra typer av utskov passar bättre för att avbörda mer frekventa flöden. [1]
- **Avbördningskapacitet:** Avbördningskapaciteten för en eroderbar dammdel är enligt USBR:s sammanställning blygsam till stor [1].
- **Påverkan uppströms:** När den eroderbara dammdelen har aktiverats kan magasinsnivån inte hållas på en högre nivå än tröskelnivån för den fasta tröskeln i botten av den eroderbara dammdelen, vilket innebär att magasinsnivån blir avsänkt tills fuseplugen är återställd. [1]
- **Påverkan uppströms:** Metoden lämpar sig inte för att sänka av magasinet vid t.ex. begränsningar eller underhåll.
- **Påverkan nedströms:** Förhållandena vid nedströms anläggningar måste beaktas särskilt. När den eroderbara dammdelen aktiveras sker stora och snabba ökningar av det flöde som avbördas. Om vattendraget nedströms dammanläggningen har liten kapacitet, eller om det finns risk för dominoeffekter, bör istället en avbördningslösning som ger en lägre och mer gradvis ökning av avbördningskapaciteten väljas. Det finns även risk för att människor överraskas av de snabba ökningarna av flödet eller att andra typer av objekt riskerar att skadas. Vid konstruktion av en eroderbar dammdel bör särskild vikt läggas vid uppbyggnaden av de eroderbara delarna för att säkerställa att aktivering verkligen sker vid den tänkta nivån.[1] Om nivån för aktivering överstigs innan aktivering sker, kan det innebära att ett mycket större flöde än vad som är tänkt uppstår, när aktivering väl sker. Även för tidig aktivering kan medföra problem eller fara, till exempel om människor som befinner sig nedströms inte hinner varnas.
- **Energiomvandling:** Inga uppgifter som rör energiomvandling har hittats.
- **Kavitation:** Inga uppgifter som rör kavitation har hittats.
- **Igensättning av drivgods och is:** Inga uppgifter som rör drivgods har hittats.

3.1.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning, lokalisering:** En eroderbar dammdel lämpar sig bäst för de dammanläggningar som ligger isolerade [1]. För att det ska vara lämpligt att anlägga en eroderbar dammdel behöver topografin vara sådan att den eroderbara dammdelen kan placeras utan att det finns risk för att övriga dammen påverkas av erosion när den eroderbara dammdelen aktiveras. Det är därför fördelaktigt om det finns naturlig mark mellan den eroderbara dammdelen och huvuddammen. Vidare bör grundläggning ske på berg av god kvalité, så att konstruktionen klarar den erosion den utsätts för när den eroderbara dammdelen aktiveras. [2] Grundläggning kan även ske på jord. Även erosionsrisker på dammens uppströmssida finns, eftersom vågverkan kan uppkomma i magasinet när den eroderbara dammdelen aktiveras. Ogynnsamma grundläggningsförhållanden eller otillräckligt erosionsskydd kan vidare leda till bakåtskridande erosion och underminering av dammen. [1] Fåran nedströms bör därför vara beständig mot erosion. [3] Utöver dessa uppgifter har inget särskilt rörande energiomvandling hittats i litteraturstudien.

- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod har av USBR bedömts som *måttlig* jämfört med övriga metoder [1].
- **Befintlig damm:** En fuse plug kan användas i kombination med både betong- och fyllningsdamm. [1]
- **Uppbyggnad:** En typisk design för en eroderbar dammdel av jord består ofta av en tät kärna och lätteroderad fyllning på nedströmssidan, t.ex. finkornig sand. En eroderbar dammdel i betong består av betongblock som placeras direkt på den fast tröskeln [3].
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Nej
 - × Behov av betongarbeten: Ja, om fast tröskel anläggs i betong och vid utförande med eroderbara delar i betong.
 - × Behov av schaktarbeten: Ja
 - × Behov av fyllningsarbeten: Ja
 - × Behov av mekanisk utrustning: Nej
- **Kallt klimat:** Se kallt klimat under drift- och underhållsaspekter.

3.1.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Ingen möjlighet till reglering finns. Aktivering sker genom ett "iscensatt" förlopp, där magasinsytans nivå triggat igång ett erosionsförlopp.
- **Behov av inspektion och underhåll:** Aktivering vid rätt tidpunkt är svårt att säkerställa. Konstruktionen kan förändras under årens lopp, vilket gör att risken för att aktivering inte sker vid rätt tidpunkt ökar.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Fuseplugs kan inte funktion provas.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Dammdelen måste återuppbyggas efter aktivering.
- **Kallt klimat:** I kalla klimat finns det risk för att den eroderbara zonen fryser om överskottsvatten finns i fyllningen. Detta leder i sin tur till att det finns risk för att dammen inte aktiveras. Erosionen kan också hämmas av t.ex. rötter. [3] Det finns även risk för att en fuse plug av betong påverkas av islast och aktiveras i förtid.
- **Övrigt:** Gång- och motortrafik bör inte tillåtas på den eroderbara dammdelen. Inte heller vegetation [3].

3.1.5 Tillämplighet i Sverige

I Sverige finns idag eroderbara dammdelar i t.ex. Vittjärn, Äldådammen och Volgsjöfors. Vid tillämpning i svenska förhållanden bör risken för att dammen fryser, och därmed inte fungerar som tänkt, beaktas särskilt. En annan viktig aspekt i svenska vattendrag är att dammanläggningarna ofta ligger tätt och att det i många fall finns bebyggelse nedströms. Eftersom förloppet vid aktivering är osäkert bör det säkerställas att det inte uppstår risker nedströms vid aktivering.

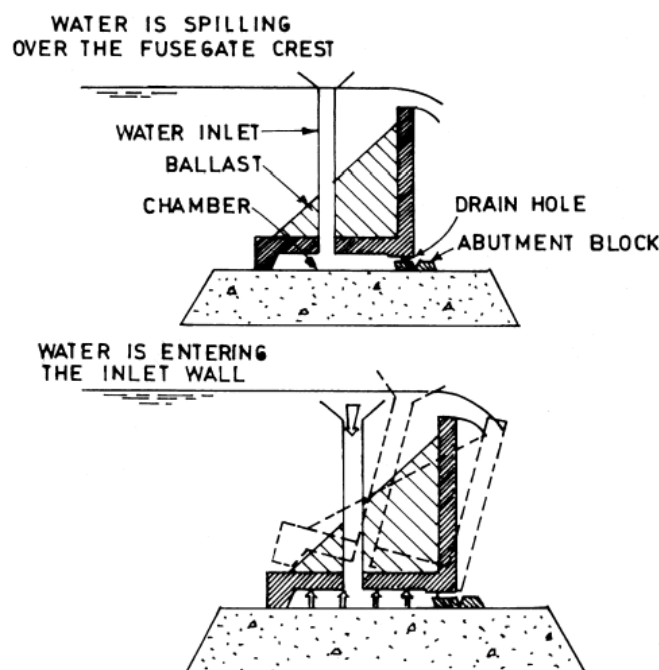
3.2 FUSE GATE

3.2.1 Beskrivning

En fuse gate är ett utskov som vid lägre vattennivåer fungerar som ett vanligt labyrinthutskov eller ett rakt överfall och som designas för att stälpa vid en fördefinierad magasinsnivå. En av fördelarna med en fuse gate är fördelarna med reglerat och oreglerat utskov kombineras. Vatten kan magasineras på samma sätt som för ett luckutskov samtidigt som utskovet har samma fördel med avbördningssäkerhet som ett oreglerat utskov. En fuse gate kan designas så att aktiveringen sker i steg där en enhet i taget stälper. [2].

Det finns olika lösningar för en fuse gate. Den lösning som förekommer i störst omfattning i litteraturen är en fuse gate från Hydroplus. Lösningen är patenterad av Hydroplus International i Frankrike, USA, Europa och några andra länder. Aktiveringen för denna typ av fuse plug sker genom att vatten strömmar in i konstruktionen genom ett intagshål i krönet. Konstruktionen förses även med dräneringshål på nedströmssidan för att läckvatten inte ska ansamlas i konstruktionens bottenbehållare. När tillflödet genom intagshålet överstiger dräneringshålens kapacitet ökar vattennivån inne i bottenbehållaren. Detta gör att upptrycket i bottenhållaren ökar och konstruktionens stabilitet minskar och till slut stälper konstruktionen (Figur 2). [2]

Det finns även en typ av fuse gate som kan återanvändas. Den bygger på en lite annan princip, där vatten kan strömma in i en rörlig behållare vid basen av konstruktionen. Behållaren roterar p.g.a. upptrycket och gör i sin tur att luckarmen öppnar luckan och sedan stänger den igen när flödet minskar.[2]



Figur 2 Skiss av en klassisk Fuse gate, innan och under aktivering (Ait Alla, 1996).

3.2.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Metoden är lämplig för reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Avbördningen räknas som en plan, horisontell tröskel när fusegaten har aktiverats och som ett skarpkantat överfall vid avbördning över strukturen [2]. Små flödestoppar kan passera genom överströmning av fuse gaten och större flödestoppar genom stjälpning av sektioner av fusegaten. [1]. Avbördningskapaciteten för en fuse gate är enligt USBR:s sammanställning medel till stor [1].
- **Påverkan uppströms:** Metoden lämpar sig inte för att sänka av magasinet vid t.ex. begränsningar eller underhåll.
- **Påverkan nedströms:** Förhållandena vid nedströms anläggningar måste beaktas särskilt. En fuse gate lämpar sig bäst för de dammanläggningar som ligger isolerade. Om vattendraget nedströms dammanläggningen har en liten kapacitet eller om det finns risk för dominoeffekter bör istället en avbördningslösning som ger en lägre och mer gradvis ökning i avbördningskapacitet väljas. [1]
- **Energiomvandling:** Inga uppgifter som rör energiomvandling har hittats.
- **Kavitation:** Inga uppgifter som rör kavitation har hittats.
- **Igensättning av drivgods och is:** Inga uppgifter som rör drivgods har hittats. Drivgods skulle kunna blockera intagshålen.
- **Övrigt:** När fusegaten har aktiverats kan magasinsnivån inte hållas på en högre nivå än tröskelnivån för den fasta tröskeln i fusegatens botten, vilket innebär att magasineringssmöjligheterna minskar tills fusegaten är återställd. [1]

3.2.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Grundläggning kan ske på berg eller jord [1].
- **Lokalisering:** Vid konstruktion av en fuse gate bör risken för att övriga delar av dammen påverkas när fuseplugen aktiveras beaktas särskilt. Ogynnsamma grundläggningsförhållanden eller otillräckligt erosionsskydd kan leda till bakåtskridande erosion och underminering av dammen. [1]
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod har av USBR bedömts som *måttlig* jämfört med övriga metoder [1].
- **Befintlig damm:** En fuse gate av "standardtyp" installeras på en plan yta. Om en befintlig dammanläggning ska byggas om tas den översta delen av tröskeln bort, om den befintliga dammen har en rundad tröskel, för att skapa en plan yta. [2]
- **Uppbyggnad:** Kan konstrueras i stål eller betong (Hydroplus, 2017).
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Nej
 - × Behov av betongarbeten: Ja
 - × Behov av schaktarbeten: Ja
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej
 - × Behov av mekanisk utrustning: Nej
- **Kallt klimat:** Enligt en studie av en rysk anläggning är Fusegate-system tillämpbara även i kalla klimat om justeringar av konstruktionen, såsom t.ex. extra utrymme för isexpansion inne i bottenbehållaren, görs (Rodionov et al. 2004).

3.2.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Ingen möjlighet till reglering finns. Aktivering sker genom ett "iscensatt" förlopp styrd av magasinsytans nivå.
- **Behov av inspektion och underhåll:** Inga uppgifter har hittats.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Fuse gates kan i regel inte funktionsprovas eftersom de måste återuppbyggas efter användning.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Dammdelen måste återuppbyggas efter aktivering [2].
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter har hittats men intagshålen skulle kunna blockeras av is.

3.2.5 Tillämplighet i Sverige

För att lösningen ska vara tillämplig i Sverige bör isfrihållning övervägas för att säkerställa funktionen om aktivering ska kunna ske vid låga temperaturer. Is skulle kunna blockera dräneringshålen och intagshålen. Islast skulle kunna göra att konstruktionen stjälpas för tidigt varför isfrihållning erfordras även av det skälet.

3.3 PASSIVA LUCKOR

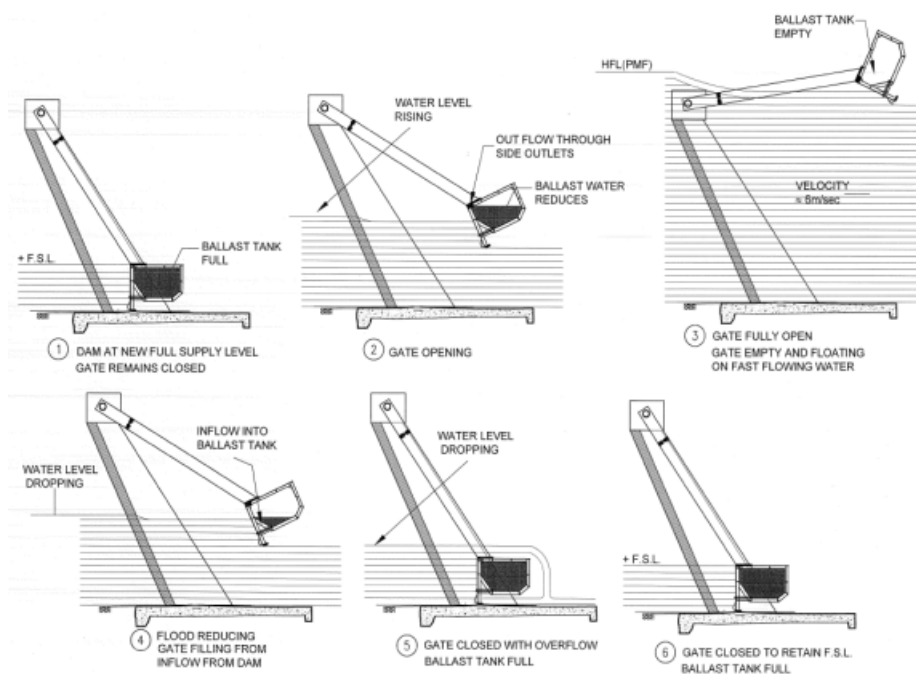
3.3.1 Beskrivning

Passiva luckor liknar traditionella luckutskov, men manövrering aktiveras (vanligen) av vattennivån, till exempel via flyttankar, ballasttankar eller genom att ökat hydrostatiskt tryck tappar luckan. När vattennivån sjunker stängs luckan igen med hjälp av samma mekanism.

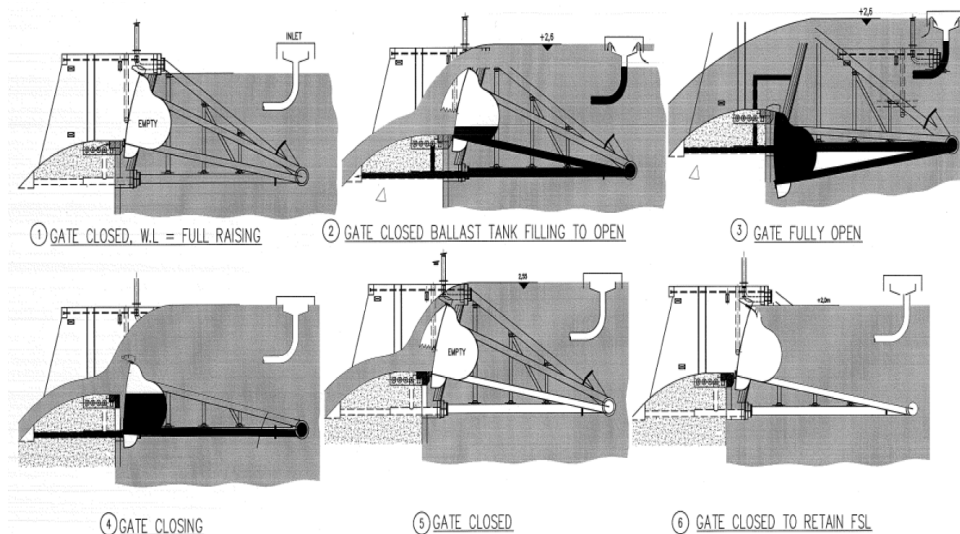
Passiva luckor är inte ett sätt att öka avbördningskapaciteten, utan ett sätt att säkerställa regleringen. Mekanisk tillförlitlighet och konsekvenser nedströms är viktiga överväganden för den här typen system.

Exempel på olika typer av passiva lucksystem är TOPS-luckor (Figur 3), FDS-luckor (Figur 4) och Godbole-luckor (Figur 5). TOPS- och FDS-luckor har utvecklats i Sydafrika och Godbole-luckor har utvecklats i Indien [2]. I Australien finns exempel på segmentluckor, som regleras genom att motvikter förflyttas när systemet fylls av vatten (Allen, 2009).

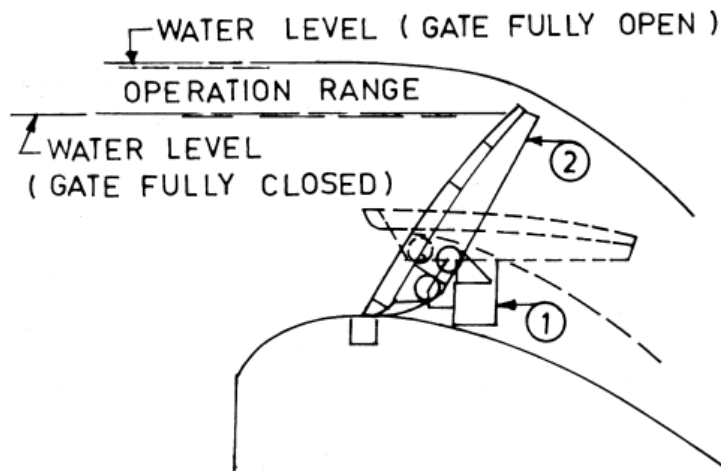
De träffar, som litteratursökningen gav för denna metod, är i huvudsak skrivna av tillverkarna av systemen.



Figur 3 Exempel på ett system med passiva luckor, en så kallad TOPS-lucka (Townshend, u.ä.).



Figur 4 Exempel på ett system med passiva luckor, en så kallad FDS-lucka (Townshend, u.ä.).



Figur 5 Exempel på ett system med passiva luckor, en så kallad Godbole-lucka [2].

3.3.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Metoden kan användas både för ordinarie utskov och reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Passiva luckor finns inte med som en särskild metod i USBR:s sammanställning. Avbördningskapaciteten är motsvarande avbördningskapaciteten för ett konventionellt ytutskov med lucka.
- **Påverkan uppströms:** Begränsade möjligheter till att sänka av magasinet. I de fall där luckan även är försedd med manuell reglering kan utskovet användas för att sänka av magasinet.
- **Påverkan nedströms:** Förhållandena vid nedströms anläggningar måste beaktas särskilt så att reglering vid nedströmsliggande dammar kan koordineras.
- **Energiomvandling:** Inga uppgifter som rör energiomvandling har hittats.
- **Kavitation:** Inga uppgifter som rör kavitation.
- **Igensättning av drivgoods och is:** Se drivgoods under drift- och underhållsaspekter.

3.3.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Kan grundläggas på berg och jord. Berggrundläggning är att föredra.
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod jämfört med andra metoder har inte bedömts av USBR. Platsåtgången för denna metod bedöms dock motsvara platsåtgång för konventionella luckutskov.
- **Lokalisering:** Inga uppgifter.
- **Uppbyggnad:**
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Nej
 - × Behov av betongarbeten: Ja
 - × Behov av schaktarbeten: Ja
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej
 - × Behov av mekanisk utrustning: Ja

- **Befintlig damm:** Passiva luckor kan installeras i befintliga utskov och dammar, men de befintliga konstruktionerna behöver anpassas (Townshend et al., u.å.).
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör passiva luckor i kallt klimat har hittats.

3.3.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Reglering av luckan sker automatiskt (Townshend et al., u.å.). Ibland finns även möjlighet att reglera luckan manuellt.
- **Behov av inspektion och underhåll** Systemen inte har några elektromekaniska delar. (Townshend et al., u.å.) och har därför ett lägre underhållsbehov än de system som har denna typ av komponenter. Luckorna har emellertid mekaniska delar som kräver underhåll.
- **Drivgods:** Det har inte gått att hitta några generella uppgifter rörande drivgods och hur öppningsmekanismen påverkas av detta. Det finns dock en risk för igensättning av det system som reglerar luckan om vattnet innehåller stora partiklar/drivgods, vilket kan göra att luckan inte fungerar på det sätt som är avsett. I ett exempel från Australien orsakade igensättning av intaget till det automatiska regleringssystemet att luckan stängdes för tidigt i en höglödessituation. I det aktuella fallet kunde luckan emellertid även köras manuellt, varför problemet kunde åtgärdas utan att det orsakade några större problem (Allen, 2009). Det finns även risk för igensättning av själva luckan/utskovet. Risken för igensättning av själva luckan/utskovet bedöms motsvara den risk som det finns för konventionella luckutskov.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Viss funktionsprovning av systemen är ofta möjlig, t.ex. genom att systemet vattenfylls manuellt, utan en höjning av magasinsytan. Det är dock viktigt att beakta att andra effekter och krafter kan uppkomma när reglering ska göras i en faktisk flödessituation (Wiliem et al., 2014).
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör passiva luckor i kallt klimat har hittats.

3.3.5 Tillämplighet i Sverige

De typer av passiva luckor som omnämns i denna rapport är utvecklade i länder med varmare klimat än Sverige. I litteratursökningen har inget exempel på tillämpning i ett kallt klimat hittats. För att metoden ska vara tillämplig i Sverige måste det säkerställas att metoden kan fungera på ett driftsäkert sätt i ett kallt klimat.

Vid tillämpning i Sverige, där det är vanligt med nedströmsliggande bebyggelse och dammanläggningar, måste nedströmsförhållanden beaktas särskilt och reglering av en passiv lucka måste ske på ett sätt som passar nedströmsliggande objekt.

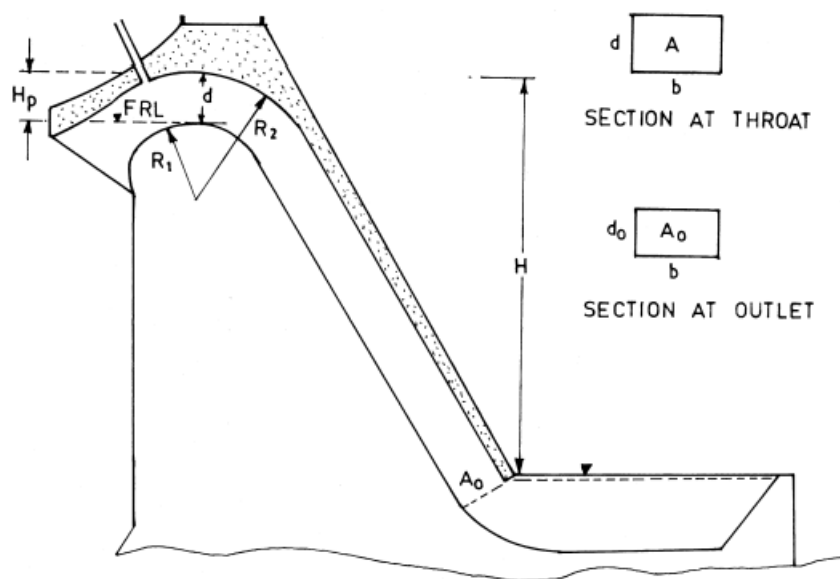
3.4 HÄVERTUTSKOV

3.4.1 Beskrivning

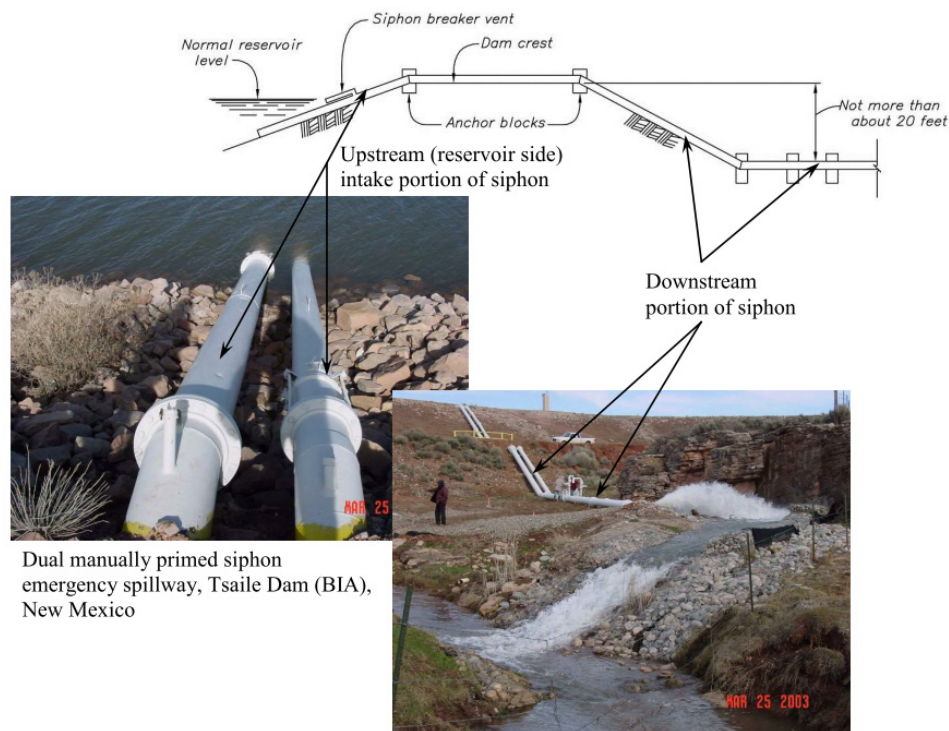
I ett hävertutskov utnyttjas skillnaden i höjd mellan inloppet och utloppet genom hävertverkan (Figur 6). För ett vanligt överfallsutskov beräknas flödet som en funktion av energinivåns höjd över tröskeln. Genom att innesluta tröskeln kan energihöjden ökas och blir då skillnaden mellan magasinsytan och utskovets utlopp vilket ger en högre avbördningskapacitet [2]. Ett hävertutskov kan även utgöras av ett rörsystem över en damm (exempel på detta visas i Figur 7).

Det finns två huvudtyper av hävertutskov; självvakuerande (s.k. "blackwater") och luftreglerade. Ett självvakuerande hävertutskov fungerar som ett bräddavlopp där avbördnings sker då vattenytan stiger över en viss nivå och avslutas då vattenytan sjunker under en viss nivå. Hävertverkan sätts igång genom att luften i hävertens nedströmsdel pressas ut vilket gör att trycket minskar och avbördnings ökar. Detta kan resultera i plötsliga och stora tappningsökningar. I luftreglade hävertutskov finns möjligheten att tillsätta luft vilket gör att avbördnings kan styras för att undvika plötsliga förändringar. [2]

I Sverige pågår försök med en alternativ variant av hävertutskov, Marelius variant, där tröskeln i ett befintligt luckutskov innesluts för att skapa hävertverkan. En artikel rörande detta väntas vara klar i juni 2017.



Figur 6 Principskiss över ett hävertutskov [2].



Figur 7 Håvertsystem för en fyllningsdamm [1].

3.4.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Metoden passar både för ordinarie utskov och reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Möjlighet till stor ökning av avbördningskapaciteten vid en liten höjning av uppströmsvattenytan [2]. När vattenytan stiger över det regleringsområde, där häverten är tänkt att användas och häverten blir full, blir dockökningen av avbördningsförmågan relativt liten vid en ökning av magasinsnivån eftersom avbördningskapaciteten då är proportionell mot roten ur fallhöjden ($\sqrt{H}$) [2]. Avbördningskapaciteten för ett hävertutskov är enligt USBR:s sammanställning liten till blygsam [1].
- **Påverkan uppströms:** Begränsade möjligheter till att sänka av magasinet (hydrostatisk tryckhöjd < atmosfärstryck) [1]. Magasinsytan kan endast regleras inom snäva gränser. [2]
- **Påverkan nedströms:** De automatiska till- och frånslagen kan resultera i plötsliga och stora tappningsökningar. I luftreglade hävertutskov finns möjligheten att tillsätta luft, vilket gör att avbördningen kan styras för att undvika plötsliga förändringar. [2]
- **Energiomvandling:** Inga uppgifter som rör energiomvandling har hittats.
- **Kavitation:** I den hydrauliska designen är det viktigt att se till att avbördningskapaciteten blir hög utan att det negativa trycket uppnår en nivå som är skadlig för konstruktionen. Risk för kavitation till följd av höga negativa tryck finns. Kavitationsrisken kan minskas/tas bort om hänsyn till detta tas vid konstruktionen. [2]

- **Igensättning av drivgods och is:** Känsligt för igensättning av drivgods [2]
Generellt inte lämpliga i kalla klimat eftersom de är känsliga för att blockeras av is. [1]
- **Övrigt:** Vattnet koncentreras till en begränsad yta [2]

3.4.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Grundläggning kan ske på berg eller jord [1].
- **Lokalisering:** Hävertutskov placeras på dammen.
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod har av USBR bedömts som *liten* jämfört med övriga metoder [1].
- **Befintlig damm:** Kan vara ett bra alternativ för att öka avbördningskapaciteten för en befintlig överfallsdamm (Tanchev, 2004).
- **Uppbyggnad:** Hävertutskov kan konstrueras i stål eller betong.
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Nej [2]
 - × Behov av betongarbeten: Ja
 - × Behov av schaktarbeten: Endast vid anläggande av ett helt nytt utskov eller om hävertutskov ska installeras på en fyllningsdamm.
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej
 - × Behov av mekanisk utrustning: Nej
- **Kallt klimat:** Se kallt klimat under drift- och underhållsaspekter.
- **Övrigt:** Installation av hävertsystem kan för en fyllningsdamm göras utan skydd av fångdamm. Relativt snabb installation är möjlig, endast en ytlig schaktning görs i dammkrönet och magasinet behöver inte sänkas av under byggtiden. [1]

3.4.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Automatisk reglering av vattennivå inom snäva gränser. [2]
- **Behov av inspektion och underhåll:** Frånvaro av rörliga delar och låga underhållskostnader [2]
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Möjligheten till funktionsprovning beror av om utskovet endast ska träda i funktion vid nivåer över dämningssgräns eller om det ska användas även vid lägre magasinsnivåer. Om det även ska användas vid nivåer under dämningssgräns kan utskovet funktion provas förutsatt att magasinsytan är tillräckligt hög vid provningstillfället.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering
- **Kallt klimat:** Det finns risk för att luftventil och rörinlopp fryser om temperaturen är låg (Tanchev, 2004).
- **Övrigt:** Det finns risk för vibrationer som kan skada konstruktionen uppkommer om utskovet körs med en stor mängd luft eftersom luft kan ansamlas och transporteras ryckvis i systemet.[2]

3.4.5 Tillämplighet i Sverige

I Sverige finns hävertutskov i till exempel Trollhättan och Halvfari. För att denna metod ska vara tillämpbar i Sverige måste drivgods och risk för igensättning av is

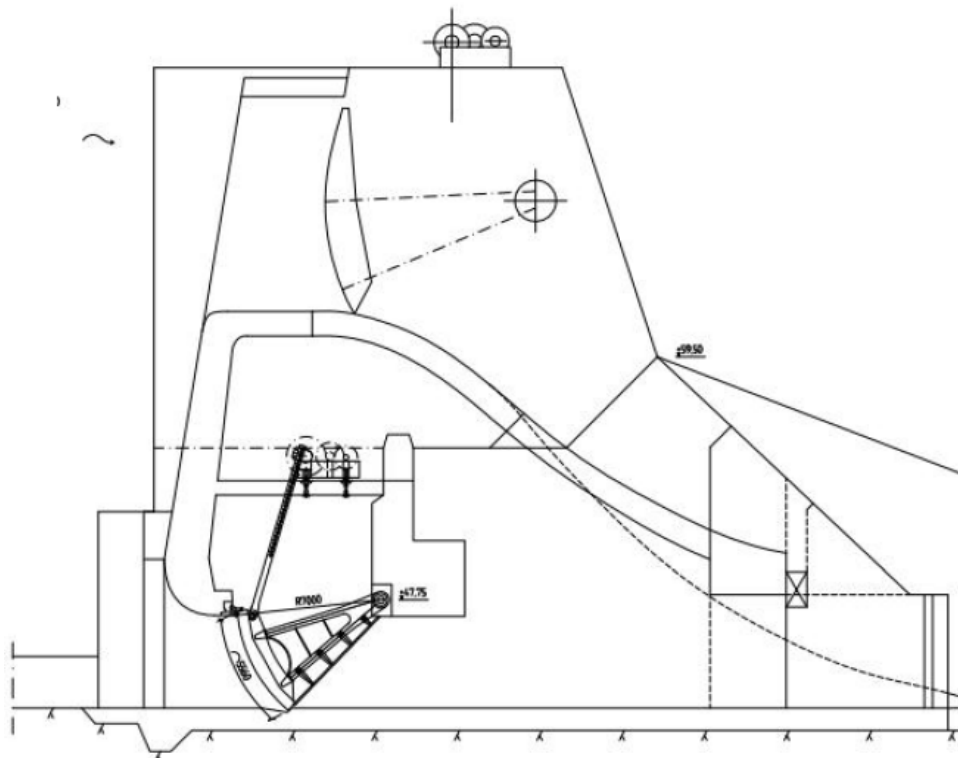
beaktas särskilt. Även nedströmsförhållandena är viktiga eftersom reglering sker med automatiska från- och tillslag och dammanläggningar ofta ligger tätt i svenska vattendrag och det ofta även finns bebyggelse nedströms.

3.5 BOTTENUTSKOV

3.5.1 Beskrivning

Utskov som är placerade lågt i förhållande till dammens krön och helt under vatten kallas bottenutskov eller djuputskov (Figur 8). Bottenutskov med vattenväg kan vara utformade på olika sätt; som en avbördningstunnel under dammen, betongkulvert genom dammen, utskov utan vattenväg, kombinerat yt- och bottenutskov eller rörledning genom dammen. Bottenutskov kan förses med olika typer av luckor eller med ventiler.

I Sverige finns många bottenutskov som inte har använts sedan byggnadstiden och i vissa fall har utskovet gjutits igen. Bottenutskov konstrueras oftast för att släppa förbi den naturliga vattenföringen under byggtiden och för att kontrollera den första dämningssupptagningen. I länder med mycket sedimenttransport används bottenutskov ofta för att spola ut sediment från magasinet.



Figur 8 Exempel på en sektion genom ett bottenutskov.

3.5.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Bottenutskov kan användas både för ordinarie utskov och som reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Bottenutskov finns inte med som en särskild metod i USBR:s sammanställning. Avbördningsförmågan för ett bottenutskov är stor för en begränsad luckstorlek. Avbördningskapaciteten ökar dock relativt långsamt när magasinet stiger, eftersom avbördningskapaciteten är proportionell mot kvadratroten ur energihöjden ($H^{1/2}$), att jämföra med ett fritt överfall där avbördningskapaciteten är proportionell mot $H^{3/2}$.
- **Påverkan uppströms:** En fördel med bottenutskov är att de lämpar sig väl för att sänka av ett magasin.
- **Påverkan nedströms:** Inga uppgifter.
- **Energiomvandling:** För dammanläggningar med hög fallhöjd sker energiomvandlingen ofta med ventiler som omvandlar energin, men där stor yta krävs för att samla upp den utsprutande vattenstrålen. Bottenutskov vid dammanläggningar med lägre fallhöjd är vanligtvis försedda med en lucka och för dessa krävs istället någon typ av struktur för energiomvandling nedströms (Tanchev, 2014).
- **Kavitation:** Problem med kavitation förekommer för bottenutskov världen över. För svenska bottenutskov är kavitation ett ovanligt problem. Anledningen till detta kan vara att fallhöjden ofta är relativt låg eller att utskoven inte har använts i någon större omfattning, vilket kan göra att eventuella kavitationsproblem ännu inte visat sig (Dath & Mathiesen, 2007).
- **Igensättning av drivgods och is:** Bottenutskov på stora djup är sannolikt mindre känsliga för drivgods än ytutskov. Om drivgods/sjunktimmer finns framför luckorna kan detta dock medföra problem, eftersom bottenutskov ofta har begränsade rensningsmöjligheter (Dath & Mathiesen, 2007).
- **Övrigt:** Många problem med bottenutskov kan relateras till luftning, både i Sverige och internationellt, som kan leda till pulsationer, vibrationer och oönskade ändringar i strömningsförhållandena (Dath & Mathiesen, 2007). Eftersom bottenutskoven ofta designats för att fungera bra under byggtiden, då magasinsytan var låg, är den hydrauliska utformningen inte optimal med hänsyn till tryckförhållanden, energiomvandling, luftinblandning, erosion etc. när magasinsytan ligger högre (Dath & Mathiesen, 2007).

3.5.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Grundläggs vanligen på berg.
- **Lokalisering:** Bottenutskov placeras vanligen i dammen.
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod jämfört med andra metoder har inte bedömts av USBR. Ett bottenutskov tar ungefär lika mycket plats som ett konventionellt luckutskov.
- **Befintlig damm:** Kan kombineras med både betong- och fyllningsdammar.
- **Uppbyggnad:**
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Ja.
 - × Behov av betongarbeten: Ja.
 - × Behov av schaktarbeten: Ja.
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej

- × Behov av mekanisk utrustning: Ja.
- **Kallt klimat:** Se kallt klimat under drift-och underhållsaspekter.

3.5.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Ja
- **Behov av inspektion och underhåll:** För att säkerställa att underhåll kan utföras och att utskovet går att stänga även om en lucka skulle fastna i öppet eller delvis öppet läge kan bottenutskovet konstrueras med två luckor/ventiler i serie. Alternativ avstängning, till exempel genom sättnar är möjligt, men det svårt att göra en temporär avstängning av ett bottenutskov i strömmande vatten pga den stora tryckhöjden. Mekaniska och elektriska delar som kräver underhåll.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Bottenutskov kan funktion provas.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Inga uppgifter. Inget eller litet underhållsbehov efter aktivering, under förutsättning att inget går sönder.
- **Kallt klimat:** Vid drift vintertid kan problem med nedisning uppkomma, eftersom den kraftiga luftmedrivning, som ofta är förknippad med bottenutskov, kan medföra att stora mängder kall luft sugas ned (Dath & Mathiesen, 2007). Risk för fastfrysning av lucka finns.

3.5.5 Tillämplighet i Sverige

Bottenutskov används redan i relativt stor omfattning i Sverige. Ett flertal bottenutskov är idag avställda och vid en eventuell öppning och renovering av dessa är det viktigt att beakta att energiomvandlaren ofta inte har dimensionerats för det maximala flöde som utskoven kan avbörda och därför säkerställa att energiomvandling kommer att fungera tillfredställande. Flera av de anläggningar, som undersökts i Dath & Mathiesen kartläggning av bottenutskov från 2007, har erosionsproblem nedströms. Författarna av kartläggningen menar att detta troligen beror på att tappning genom bottenutskoven inte skulle ske så frekvent, eftersom vatten normal tas genom kraftstationen och ytutskoven och att energiomvandlarna dessutom, i den mån de alls finns, ofta är dimensionerade för det flöde som vid byggnadstillfället var det dimensionerande flödet.

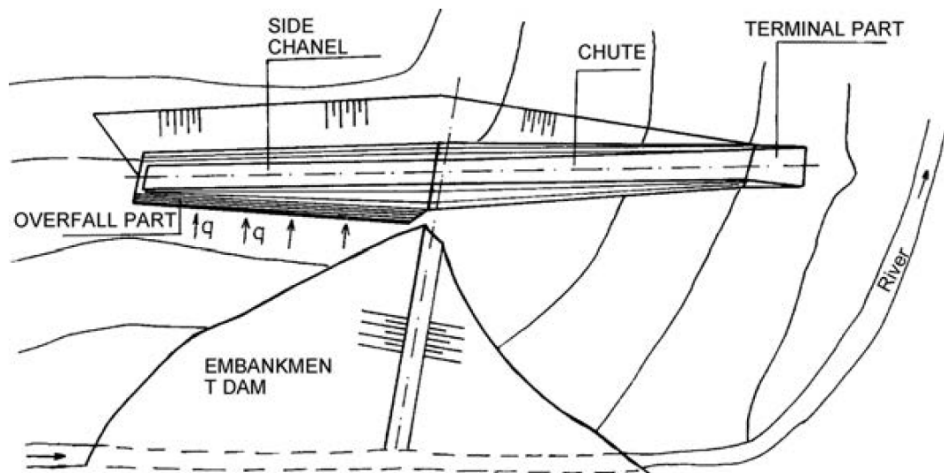
3.6 UTSKOV I SIDOKANAL

3.6.1 Beskrivning

Utskov placeras vanligtvis i vattendragets huvudfåra. Om grundläggningen i huvudfåran inte är passande för en tung konstruktion eller om det är svårt att utöka dammens avbördningskapacitet genom att bygga om befintligt utskov/damm i huvudfåran kan det vara aktuellt att konstruera ett utskov vid sidan av huvudfåran [2]. Sidokanalsutskov förekommer vanligtvis utan luckor, men kan i vissa fall även förses med luckor [1].

En sidokanal består vanligtvis av en tilloppskanal, en tröskel, en utskovsränna, en energiomvandlare och en avloppskanal (Figur 9). Sidokanalsutskov kan även

kombineras med en tunnel eller en rörledning. Tröskeln för sidokanalsutskov kan vara rak (då ofta placerad parallellt med fåran, Tanchev, 2004), L-formad eller U-formad (Figur 10, även kallat *bathtub spillways*). I L- och U-formade sidokanalsutskov kan vattnet strömma över tröskeln från flera håll [2].



Figur 9 Plan över ett sidokanalsutskov med rak överfallströskel (Tanchev, 2004).



Figur 10 Exempel på ett U-format sidokanalsutskov. [1]

3.6.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Sidokanalsutskov kan användas både som ordinarie utskov och som reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Avbördningskapaciteten för ett sidokanalsutskov är enligt USBR:s sammanställning måttlig till medel utan lucka och medel till stor med lucka [1]. Högre flöden än designnivå kan leda till minskad

avbördnings effektivitet genom att det vatten, som rinner över en del av tröskeln, påverkas av det vatten som rinner över tröskelns andra delar och/eller genom motdämning. [1].

- **Påverkan uppströms:** Om utskovet är försett med luckor är avsänkning möjlig.
- **Påverkan nedströms: Inga uppgifter.**
- **Energiomvandling:** Viss energiomvandling sker när vattnet från magasinet faller ner i sidokanalen vid överfallsutskov[2]. Sidokanalen bör konstrueras så att vattensprånget sker innan vattnet leds in i utskovsrännan, rörledningen eller tunneln för att minimera risken för att flödet blir instabilt (till exempel vågbildning). [1]
- **Kavitation:** Inga uppgifter som rör kavitation har hittats. Risken för kavitation bedöms vara liten, eftersom vattenhastigheterna normalt är låga.
- **Igensättning av drivgods och is:** Inga uppgifter som rör drivgods eller is har hittats.

3.6.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Grundläggning bör ske på berg [1]. Det kan vara lämpligt att anlägga ett sidokanalsutskov om grundläggningsförhållandena i huvudfåran inte är passande för en tung konstruktion [2].
- **Lokalisering:** En sidokanal kan vara ett alternativ om det finns begränsat med utrymme i huvudfåran och om det vid sidan av huvudfåran finns berg av god kvalitet att grundlägga tyngre konstruktioner på. [1]
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod har av USBR bedömts som *måttlig* jämfört med övriga metoder [1].
- **Befintlig damm:** Kan användas i kombination med både betong- och fyllningsdammar [1].
- **Uppbyggnad:**
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: I fallet med lucka.
 - × Behov av betongarbeten: Ja
 - × Behov av schaktarbeten: Ja.
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej.
 - × Behov av mekanisk utrustning: I fallet med lucka.
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör sidokanalsutskov i kallt klimat har hittats.

3.6.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Möjlighet till reglering finns endast i de fall där utskovet förses med lucka.
- **Behov av inspektion och underhåll:** Inga uppgifter har hittats. Mekaniska och elektriska delar som kräver underhåll i fallet med lucka.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Endast i fallet med lucka.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör sidokanalsutskov i kallt klimat har hittats. Risk för fastfrysning av lucka finns i fallet med lucka.

3.6.5 Tillämplighet i Sverige

Inga särskilda uppgifter som påverkar tillämpning i svenska förhållanden har hittats. Dock bör det noteras att inga uppgifter rörande sidokanalsutskov i kallt klimat har hittats.

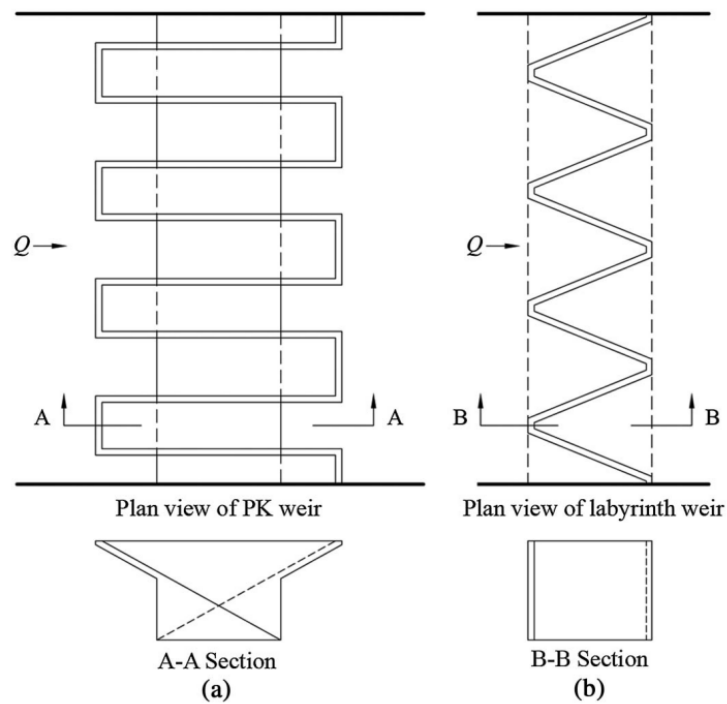
3.7 LABYRINTUTSKOV

3.7.1 Beskrivning

Labyrintutskov är en typ av överfallsutskov, där tröskellängden förlängs med hjälp av en serie av snedställda, trapetsformade, rektangulära eller triangulära strukturer inom den totala bredden för utskovet (Figur 11 och Figur 12) [1]. Avbördningskapaciteten för ett labyrintutskov kan vara tre till fyra gånger större än för ett rakt överfallsutskov på samma bredd (Anderson, & Tullis, 2013) och kan vara ett bra alternativ där det finns begränsat med utrymme eller där hög avbördningskapacitet i förhållande till överfallshöjd behövs [1].

Labyrintutskov med rektangulära strukturer kallas även Piano Key Weir (PKW) och är en vidareutveckling av labyrintutskov. Trapetsformade labyrintutskov har generellt en högre avbördnings effektivitet än en Piano Key Weir, men där grundläggningsytan är begränsad, t.ex. på en gravitationsdamm (Figur 12), ger ofta Piano Key Weirs en större avbördningskapacitet än ett trapetsformat labyrintutskov på samma yta (Figur 11) (Anderson, & Tullis, 2013). PKW är vanligen förknippade med lägre konstruktionskostnader än traditionella labyrintutskov (Schleiss, 2011).

Traditionella labyrintutskov (Figur 11 b) har använts under lång tid och de olika parametrar som påverkar labyrintutskovets hydrauliska egenskaper och geometriska utformning är därför väl studerade. PKW-utskov har inte förekommit lika länge vilket gör att det krävs ytterligare forskning innan generella samband för konstruktion och hydrauliska egenskaper kan tas fram (Schleiss, 2011).



Figur 11 Exempel på a) Piano Key Weir (PKW) och b) labyrintutskov. De två exemplen har samma grundläggningsyta men PKW har längre överfallslängd (Dabbling & Tulling, 2012).



Figur 12 Exempel på en gravitationsdamm med en kombination av labyrint- och PKW-utskov. Dak Mi 4B-dammen i Vietnam (Khanh, 2014).

3.7.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Labyrintutskov kan användas både som ordinarie utskov och reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Hög avbördningskapacitet i förhållande till överfallshöjden tack vare att tröskellängden förlängs av en serie strukturer, vilket innebär att en lägre magasinsnivå krävs för ett givet flöde. [1] Avbördningskapaciteten för ett labyrintutskov är enligt USBR:s sammanställning måttlig till stor [1]
- Motdämning av labyrintutskov och Piano Key Weir har framförallt studerats genom modellförsök. Typen och geometrin är avgörande för hur utskovet fungerar vid motdämning. Vid liten motdämning kräver PKW en lägre magasinsnivå än ett labyrintutskov för att avbörda ett givet flöde. Vid en högre motdämning blev resultatet det omvända. Skillnaden mellan de två utskovstyperna var liten. (ICOLD –*Technical Advancements in Spillway Design - Progress and Innovations from 1985 to 2015*)
- **Påverkan uppströms:** Om magasinsnivån överstiger designnivån börjar utskovet att fungera mer som ett brett överfall än som ett skarpkantat överfall med förlängd tröskel. Avbördnings effektiviteten minskar då, vilket medför en snabbare stigande magasinsyta [1]. Liknande fenomen kan uppkomma om utskovet fryser igen eller om drivgods ansamlas. Labyrintutskov kan inte användas för att sänka av magasinet.
- **Påverkan nedströms:** Inga uppgifter.
- **Energiomvandling:** Energiomvandlingen som sker i labyrintutskov är mycket effektiv. Den energi som finns kvar att omvandla efter själva labyrintstrukturen är mindre än för konventionella vertikala överfall med fri stråle (ICOLD –*Technical Advancements in Spillway Design - Progress and Innovations from 1985 to 2015*)
- **Kavitation:** Inga uppgifter som rör kavitation har hittats.
- **Igensättning av drivgods och is:** Enligt en studie gjord Crookston et. al. (2015), där 75 dammägare i USA och Portugal tillfrågades, är labyrintutskov ofta självrensande. Dammägarna i studien uttrycker generellt att de var nöjda med hur labyrintutskoven hanterade drivgods och att endast lite underhåll har krävts. Större stockar och stubbar kan behöva rensas bort. I de fall där labyrintutskov har ersatt befintliga utskov (5 st.) har drivgodshanteringen förbättrats väsentligt. I studien poängteras att underlaget av fältobservationer gällande drivgodsmängder samt hur ofta utskoven har använts inte är fullständigt. I artikeln redovisas även resultaten av modellförsök med drivgods och labyrintutskov (Piano Key geometri) där resultatet var att drivgods ansamlades vid utskovet vid lägre flöden och spolades bort vid högre flöden. Motsvarande resultat har även rapporterats från modellförsök med labyrintutskov med klassisk geometri. Trots detta ska inte risken för att drivgods kan ansamlas vid höga flöden uteslutas, till exempel på grund av anläggningsspecifika förhållanden (ICOLD –*Technical Advancements in Spillway Design - Progress and Innovations from 1985 to 2015*)

3.7.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Bra grundläggning, med fördel på berg, behövs. [1]
- **Lokalisering:** Kan vara ett bra alternativ där det finns begränsat med utrymme [1].
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod har av USBR bedömts som *måttlig* jämfört med övriga metoder [1].
- **Befintlig damm:** Svårigheter, som kan uppkomma vid ersättning av konventionellt utskov, kan vara att ökad avbördningskapacitet i den befintliga fåran kan innebära att ledmurar nedströms behöver byggas/höjas, att energiomvandlingen måste byggas om samt att det kan uppstå ett behov av att skydda vattendragets stränder längre nedströms. [2]
- **Uppbyggnad:**
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Nej
 - × Behov av betongarbeten: Ja
 - × Behov av schaktarbeten: Ja.
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej.
 - × Behov av mekanisk utrustning: Nej
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör labyrintutskov i kallt klimat har hittats.

3.7.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Ingen möjlighet till reglering finns.
- **Behov av inspektion och underhåll:** Inga uppgifter har hittats. Frånvaro av rörliga delar.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Nej
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör labyrintutskov i kallt klimat har hittats.

3.7.5 Tillämplighet i Sverige

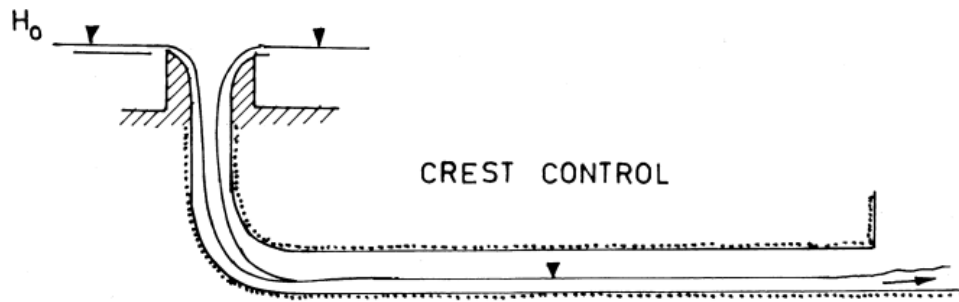
Vid tillämpning i svenska förhållanden måste konstruktionen eventuellt anpassas för att säkerställa att konstruktionen är stabil för de islaster som kan uppkomma i Sverige.

3.8 SCHAKTUTSKOV

3.8.1 Beskrivning

Schaktutskov består generellt av tre delar; en intagströskel, ett vertikalt schakt och en tunnel (ofta horisontell eller med liten lutning). Intagströskeln kan vara utformad på olika sätt, till exempel cirkulärt, rektangulärt, med labyrintstrukturer etc. Ett exempel på schaktutskov är *Morning Glory*.

Schaktutskov kan utformas för att fungera på olika sätt hydrauliskt beroende på vilka förutsättningar som råder på platsen samt vad som är fördelaktigt för anläggningen (Figur 13). Exempel på detta är att utskoven kan konstrueras för fri avbördnings, som ett trycksatt system, med vortexvirvel, med hävertverkan eller med olika kombinationer av detta i schaktutskovets olika delar.



Figur 13 Skiss över ett schaktutskov. I detta exempel bestäms flödet av tröskeln [2].

3.8.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Metoden kan användas både som ordinarie utskov och reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Avbördningskapaciteten för ett schaktutskov är enligt USBR:s sammanställning måttlig till medel utan lucka och medel till stor med lucka [1].
- **Påverkan uppströms:** När energihöjden över tröskeln ökar, övergår flödet från att bestämmas av tröskeln (fritt överfall) till att bestämmas av schaktets kapacitet. När energihöjden ökar ännu mer, så att tunneln fylls helt, bestäms avbördningskapaciteten av tunneln och systemet fungerar hydrauliskt som rörströmning. När avbördningen bestäms av schaktets eller tunnelns kapacitet ökar inte avbördningskapaciteten lika snabbt med stigande magasinsnivå, som när fri avbördning sker [1]. Detta kan göra att vattennivån stiger mycket snabbt om flödet blir högt (Lysne et. al., 2003). Eftersom avbördningskapaciteten normalt närmar sig maximal kapacitet redan vid relativt liten ökning av magasinsnivån lämpar sig denna typ av utskov bäst för magasin, som är tillräckligt stora för att dämpa ett tillrinnande höglöde och/eller där den maximala tappningen behöver begränsas. [2]
- **Påverkan nedströms:** Inga uppgifter.
- **Energiomvandling:** Energiomvandling för schakt- och tunnelutskov skiljer sig åt jämfört med energiomvandling i en öppen kanal eller utskovsränna. Några av skillnaderna är att flödet har en mer tredimensionell natur än ett flöde i en bred utskovsränna, att flödet kan vara trycksatt och att utloppet från tunneln ofta ligger på sidan av fåran och utflödet därmed får en annan riktning än flödet i huvudfåran. En stor del av energiomvandlingen kan ske i tunneln genom att den förses med anordningar för att skapa fallförluster, friktion eller virvlar, men den kan också ske i utloppet av tunneln, där strömning sker med fri vattenyta, genom ett vattensprång eller någon typ av konstruktion för energiomvandling. [2]
- **Kavitation:** Risken för kavitation är beroende på utformningen av schaktutskovet. För till exempel schaktutskov med hög fallhöjd kopplat till en tunnel är risken för kavitation relativt hög [2].
- **Igensättning av drivgods och is:** Schaktutskov kan vara känsliga för blockering av drivgods och is (Lysne et. al., 2003). I områden där mycket drivgods förekommer, bör förebyggande åtgärder vidtas eller en alternativ avbördningsmetod väljas. [1]

- **Övrigt:** Om utskovets avbördning övergår till att bestämmas av schakt/tunnel kan detta resultera i problem i vattenvägen, eftersom schaktutskov vanligtvis är konstruerade för att regleras i det område där flödet kontrolleras av tröskeln.[1]

3.8.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Berg av god kvalitet krävs för att anlägga schaktutskov. [1]
- **Lokalisering:** Kräver begränsat utrymme ovan jord, vilket gör att denna typ av utskov passar bra i vattendrag med smala dalgångar och branta sluttningar [2]
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod har av USBR bedömts som *liten* jämfört med övriga metoder [1].
- **Befintlig damm:** Lösningen är oberoende av vilken typ av dammar anläggningen består av (betongdammar, fyllningsdammar, etc.) [2].
- **Uppbyggnad:**
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: I fallet med lucka.
 - × Behov av betongarbeten: Ja
 - × Behov av schaktarbeten: Ja.
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej.
 - × Behov av mekanisk utrustning: I fallet med lucka.
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter.

3.8.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Schaktutskov förekommer både med och utan luckor, vilket gör att både reglerade och oreglerade schaktutskov förekommer.
- **Behov av inspektion och underhåll:** Inga uppgifter har hittats. Mekaniska och elektriska delar som kräver underhåll i fallet med lucka.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Endast i fallet med lucka.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter. Risk för fastfrysning av lucka finns i fallet med lucka.

3.8.5 Tillämplighet i Sverige

Vid tillämpning i Sverige bör risken för blockering av drivgods och is särskilt beaktas.

3.9 ÖVERSTRÖMNINGSBAR DAMMDEL

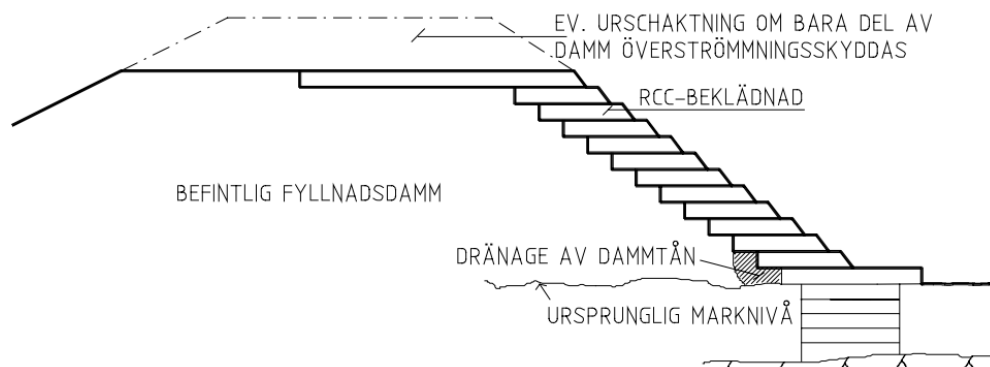
3.9.1 Beskrivning

Avbördning genom kontrollerad överströmning av dammar innebär att dammen byggs eller byggs om på ett sådant sätt att den klarar överströmning. Om ett överströmningsskydd ska anläggas måste särskild hänsyn tas till att det finns risk för att överströmning kan leda till ett dammhaveri om skyddsbarriären fallerar. Kontrollerad överströmning av dammar bör endast övervägas om det inte finns

några andra sätt för att utöka avbördningskapaciteten som är tekniskt möjligt och kostnadseffektivt.[1]

För fyllningsdammar, som är känsliga för överströmning, kan överströmningsskyddet bestå av att dammen kläs in med hjälp av betongmattor, betongblock, vältbetong, vältkompakterad betong (VKB)² (Figur 14), vegetation, geotextil, geomembran, stenfyllning, gabioner etc. [1] De olika typerna av överströmningsskydd har olika för- och nackdelar och lämpar sig därför olika väl vid olika tillämpningar (Hepler, 2014).

För betongdammar måste i regel landfästen och nedströmstån skyddas från erosion, eftersom erosion av dammens grundläggning kan påverka dammens stabilitet. [3] Överströmningsskydd för betongdammar kan bestå av vältkompakterad betong, betong, förstärkning av grundläggning och/eller erosionsskydd vid landfästen och energiomvandlingsbassäng [1].



Figur 14 Exempel på överströmningsskydd av vältkompakterad betong (Rundqvist & Ygland, 1999).

3.9.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Denna metod lämpar sig endast som reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Avbördningskapaciteten för ett överströmningsskydd är enligt USBR:s sammanställning medel till mycket stor [1].
- **Påverkan uppströms:** Metoden kan inte användas för att sänka av magasinet.
- **Påverkan nedströms:** Om ett överströmningsskydd ska anläggas måste särskild hänsyn tas till att det finns risk för att överströmning kan leda till ett dammhaveri om skyddsbarriären fallerar.
- **Energiomvandling:** Normalt krävs någon typ av energiomvandlingsstruktur i nedströmsänden av fyllningsdammen. Viss energiomvandling sker även på dammens nedströmsslänt för överströmningsskydd med hög ytråhet eller trappade system. (Hepler, 2014).
- **Kavitation:** Inga uppgifter som rör kavitation har hittats.
- **Igensättning av drivgods och is:** Drivgods kan skada dammens översvämningsskydd. Olika typer av överströmningsskydd är olika känsliga för drivgods. En av fördelarna med VKB-beklädnader är att drivgods vanligtvis kan släppas förbi utan att konstruktionen skadas (Hepler, 2014).

² Det engelska begreppet för VKB är RCC - Roller Compacted Concrete.

- **Övrigt:** Strömningsförhållandena över en fyllningsdamm, som överströmmas, ändras från strömmande till stråkande över dammen. Kritiskt djup uppstår på dammkrönet. Vid dammtån blir flödet turbulent, innan energiomvandling sker genom ett vattensprång (Hepler, 2014).

3.9.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Att även grundläggningen kan vara erosionskänslig bör beaktas [3].
- **Lokalisering:** Kontrollerad överströmning av dammar bör endast övervägas om det inte finns något annat sätt att öka avbördningskapaciteten, som är tekniskt möjligt och kostnadseffektivt.[1]
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod har av USBR bedömts som *stor* jämfört med övriga metoder [1].
- **Befintlig damm:** Fyllningsdammars stabilitet kan påverkas negativt av ett överströmningsskydd genom att:
 - × ett ogenomströmligt lager anläggs på dammens nedströmssida vilket kan göra att existerande läckvägar kan brytas och porttrycket öka (Hepler, 2014).
 - × Dammens nedströmsslänt schaktas av vid ombyggnaden, vilket leder till en reducerad tvärsektion, som i sin tur kan leda till en minskad säkerhetsfaktor. Vid schaktning av dammens krön ökar även risken för överströmning (Hepler, 2014).
- **Uppbyggnad:** Ett överströmningsskydd för en fyllningsdamm måste både vara erosionsbeständigt och hindra att stora vattenmängder strömmar ner i nedströmsfyllningen, eftersom ett omfattande inläckage kan orsaka problem vid dammtån. Nedströmsfyllningen i jordfyllningsdammar kan ibland vara tillräckligt tät för att förhindra detta inläckage, men för stenfyllningsdammar och jordfyllningsdammar som inte är täta nog krävs ett tätande skikt under erosionsskyddet (Rundqvist & Ygland, 1999). Vid konstruktion av ett överströmningsskydd för en fyllningsdamm måste de olika strömningsförhållandena över och i dammen (se avsnitt 3.9.2) beaktas (Hepler, 2014).
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Nej
 - × Behov av betongarbeten: Ja, för vissa typer av överströmningsskydd.
 - × Behov av schaktarbeten: Ja
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej.
 - × Behov av mekanisk utrustning: Nej
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör överströmningsskydd i kallt klimat har hittats.

3.9.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Ingen möjlighet till reglering finns.
- **Behov av inspektion och underhåll:** Möjligheter till övervakning av dammen kan påverkas av ett överströmningsskydd (Hepler, 2014). Underhållsbehov och livslängd varierar beroende på typ av överströmningsskydd (Hepler, 2014). När överströmning sker finns ingen möjlighet till inspektion eller underhåll.

- **Möjlighet till funktionsprovning:** Ingen funktionsprovning är möjlig.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Inga litteraturuppgifter har hittats, men om överströmning sker finns risk för att omfattande skador, som måste repareras, uppstår.
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör överströmningsskydd i kallt klimat har hittats.
- **Övrigt:** Många överströmningsskydd har konstruerats, men få har använts, och i de fall där överströmning skett har flödet varit långt ifrån det flöde som överströmningsskyddet konstruerats för (Hepler, 2014).

3.9.5 Tillämplighet i Sverige

Vid användning i svenska förhållanden bör det beaktas särskilt att beklädnaden kan frysskadas. Eftersom en skada i överströmningsskyddet kan leda till dammhaveri måste man också vid användning av denna metod beakta att dammanläggningar ofta ligger tätt i svenska vattendrag och att det ofta finns bebyggelse nedströms.

3.10 ÖVRIGA METODER

3.10.1 Olika typer av överfall

I ett ytutskov sker strömning generellt med fri vattenyta och utformningen kan se ut på olika sätt, till exempel breda, skarpkantade och rundade överfall. Överfallen kan förses med lucka vilket möjliggör att tröskeln läggs på en lägre nivå. Rundade överfall är dominerande för svenska dammar (Bergh, 2014) och med anledning av detta beskrivs inte denna typ av utskov i någon större omfattning i denna rapport eftersom kunskapen om för- och nackdelar för denna typ av utskov är god. Några av fördelarna med denna typ av utskov är att luckförsedda överfallsutskov ger möjlighet till reglering och avsänkning av magasinsytan vid till exempel driftbegränsningar. Några av utmaningarna är att luckförsedda utskov generellt kräver mycket underhåll och är mindre driftsäkra än utskov utan luckor. De överfallsutskov som inte är luckförsedda tar istället mycket plats för att avbörda samma flöde som ett luckförsedd utskov, där tröskeln kan läggas på en lägre nivå. En typ av överfallsutskov utan lucka som tar mindre plats är labyrinthutskov (se kapitel 3.7).

3.10.2 Bypass

En bypass-ledning med en tryckreduceringsventil kan användas för att leda vatten förbi turbinen även om den är avstängd (Leyland, 2014). För denna avbördningsmetod har litteratursökningen gett begränsat resultat.

Metoden kan vara extra intressant för pumpkraftverk, där nederbördsområdet och därmed erforderlig avbördningsförmåga normalt är liten jämfört med utbyggnadsvattenföringen.

Svenska riktlinjer säger att avbördningsförmåga genom kraftstationen inte får medräknas i den totala avbördningskapaciteten. För att denna metod ska vara tillämplig i Sverige behöver möjligheten och kostnaden för att bygga om befintliga anläggningar utredas.

3.11 JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA AVBÖRDNINGSMETODER

3.11.1 Hydrauliska aspekter

Aspekt	Eroderbar dammdel (Fuse plug)	Fuse gate	Passiva luckor	Hävert-utskov	Bypass	Bottenutskov	Utskov i sidokanal	Olika typer av överfall	Labyrint-utskov	Schaktutskov	Överströmningsbar dammdel
Ordinarie utskov	-	-	x	x	-	x	x	x	x	X	-
Reservutskov	x	x	x	x	X	x	x	x	x	X	x
Påverkan uppströms. Möjligheter till snabb avsänkning av magasinet	Nej (inte på ett kontrollerat sätt)	Nej (inte på ett kontrollerat sätt)	Ja, om manuell reglering är möjlig.	Begränsade möjligheter.	Ingen uppgift	Ja, kan med fördel användas för avsänkning av magasinet.	Ja, i fallet med lucka.	Nej	Nej	Ja, om manuell reglering är möjlig.	Nej
Påverkan nedströms	Snabba förändringar av flödet.	Snabba förändringar av flödet.	Snabba förändringar av flödet kan förekomma.	Snabba förändringar av flödet kan förekomma.	Inga uppgifter.	Gradvis förändring av flödet är möjlig.	Gradvis förändring av flödet är möjlig.	Gradvis förändring av flödet sker	Gradvis förändring av flödet sker.	Gradvis förändring av flödet är möjlig.	Särskild hänsyn för risken för ett dammhaveri om skyddsbarriären fallerar.
Energiomvandling	Inga uppgifter.	Inga uppgifter.	Inga uppgifter.	Inga uppgifter.	Inga uppgifter.	Vid hög fallhöjd används ofta ventil. Vid lägre fallhöjd används andra typer av energiomvandlare. (Tanchev, 2014).	Viss energiomvandling sker i sidokanalen [2].	Ej studerat.	Energiomvandlingen som sker i labyrintutskov är mycket effektiv. (ICOLD – <i>Technical Advancements in Spillway Design - Progress and Innovations from 1985 to 2015</i>) [2].	Energiomvandlingen skiljer sig jämfört med öppen kanal. En stor del av energiomvandlingen kan ske i tunneln [2].	Viss energiomvandling sker på dammens nedströms-slänt (Hepler, 2014).
Kavitation	Ingen uppgift. Ej relevant.	Ingen uppgift	Ingen uppgift	Risk för kavitation [2]	Ingen uppgift	Risk för kavitation (Dath & Mathiesen, 2007).	Ingen uppgift	Ej studerat.	Ingen uppgift	Risk för kavitation [2]	Inga uppgifter.

Avbördningskapacitet – Avser potentiell avbördningskapacitet, och kan användas för att få en översiktlig jämförelse mellan olika utskovstyper. Baseras på U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation inventering av utskov, där **liten** är $\leq$ ca 30 m³/s; **måttlig** är $>$ ca 30 m³/s till $\leq$ ca 700 m³/s; **medel** är $>$ ca 700 m³/s till $\leq$ ca 1400 m³/s; **stor** är $>$ ca 1400 m³/s till $\leq$ ca 2800 m³/s; och **mycket stor** är $>$ ca 2800 m³/s [1]

3.11.2 Konstruktionsaspekter

Aspekt	Eroderbar dammdel (Fuse plug)	Fuse gate	Passiva luckor	Hävertutskov	Bypass	Bottenutskov	Utskov i sidokanal	Olika typer av överfall	Labyrintutskov	Schaktutskov	Överströmningsbar dammdel
Grundläggning	Jord/Berg [1]	Jord/Berg [1]	Jord/Berg	Jord/Berg [1]	Berg/betong	Berg	Berg [1]	Jord/Berg [1]	Jord/Berg [1]	Berg [1]	Jord/Berg [1]
Lokalisering	Se respektive kapitel för de olika avbördningsmetoderna. De uppgifter som framkommit vid litteraturstudien för denna punkt är det inte meningsfullt att ha med i denna tabell eftersom uppgifterna är svåra att jämföra.										
Platsåtgång	Måttlig [1]	Måttlig [1]	Som konventionella luckutskov.	Liten [1]	Ingen uppgift.	Som konventionella luckutskov.	Måttlig [1]	Stor [1]	Måttlig [1]	Liten [1]	Stor [1]
Befintlig damm	Se respektive kapitel för de olika avbördningsmetoderna. De uppgifter som framkommit vid litteraturstudien för denna punkt inte meningsfullt att ha med i denna tabell eftersom uppgifterna är svåra att jämföra.										
Uppbyggnad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kallt klimat	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.	Anpassningar för tillämpningar i kallt klimat kan behöva göras (Rodionov et al. 2004).	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.	Ej studerat.	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.	Ingen uppgift.	Inga uppgifter som rör konstruktionsaspekter såsom islaster etc.
Behov av el- och kontrollanläggningar	Nej	Nej	Nej	Nej [2]	Ingen uppgift.	Ja	Endast i fallet med lucka.	Endast i fallet med lucka.	Nej	Endast i fallet med lucka	Nej
Behov av betongarbeten:	Ja, vid fast tröskel i betong eller eroderbara delar i betong.	Ja	Nej	Ja	Ingen uppgift.	Ja	Ja	Ej studerat.	Ja	Ja	Ja, för vissa typer
Behov av schaktarbeten	Ja	Ja	Ja	Ja	Ingen uppgift.	Ja	Ja	Ej studerat.	Ja	Ja	Ja
Behov av fyllningsarbeten	Ja	Nej	Nej	Nej	Ingen uppgift.	Nej	Nej	Ej studerat.	Nej	Nej	Nej
Behov av mekanisk utrustning	Nej	Nej	Ja	Nej	Ingen uppgift.	Ja	I fallet med lucka.	Ej studerat.	Nej	I fallet med lucka	Nej

3.11.3 Drift- och underhållsaspekter

Aspekt	Eroderbar dammdel (Fuse plug)	Fuse gate	Passiva luckor	Hävertutskov	Bypass	Bottenutskov	Utskov i sidokanal	Olika typer av överfall	Labyrintutskov	Schaktutskov	Överströmningsbar dammdel
Lucka	Nej	Nej	Ja	Ja/Nej	Ventil	Lucka/Ventil	I sällsynta fall	Ja/Nej	Nej	Ja/Nej	Nej
Möjlighet till reglering	Ingen möjlighet till reglering.	Ingen möjlighet till reglering.	Automatisk reglering	Automatiska från- och tillslag.	Reglering med hjälp av ventil.	Möjlighet till reglering i de fall lucka eller ventil finns.	Möjlighet till reglering i de fall lucka finns.	Möjlighet till reglering i de fall lucka finns.	Ingen möjlighet till reglering	Möjlighet till reglering i de fall lucka finns.	Ingen möjlighet till reglering.
Behov av inspektion och underhåll	Svårt att verifiera funktion	Ingen uppgift	Mekaniska delar som kräver underhåll.	Frånvaro av rörliga delar.	Ingen uppgift.	Mekaniska och elektriska delar som kräver underhåll i fallet med lucka.	Mekaniska och elektriska delar som kräver underhåll i fallet med lucka.	Mekaniska och elektriska delar som kräver underhåll i fallet med lucka.	Frånvaro av rörliga delar.	Mekaniska och elektriska delar som kräver underhåll i fallet med lucka.	Möjligheter till övervakning av dammen kan vara begränsade Underhållsbehov och livslängd varierar beroende på typ av överströmnings-skydd (Hepler, 2014).
Möjlighet till funktionsprovning	Nej	Nej	Ja	Ja, om utskovet kan användas vid nivåer under dämningssgräns.	Ingen uppgift.	Ja	Endast i fallet med lucka.	Endast i fallet med lucka.	Nej	Endast i fallet med lucka.	Nej
Behov av reparation/återställande efter användning	Måste återuppbyggas efter aktivering	Måste återuppbyggas efter aktivering	Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.	Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.	Ingen uppgift.	Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.	Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.	Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.	Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.	Inga uppgifter. Sannolikt inget eller litet underhållsbehov efter aktivering.	Omfattande åtgärder kan komma att krävas efter aktivering
Kallt klimat	Risk för nedsatt funktion [3]	Inga uppgifter. Is skulle kunna blockera intag- och dräneringshål.	Inga uppgifter. Is skulle kunna blockera intagshål.	Känsligt för igensättning.	Ingen uppgift.	Risk för nedisning på grund av luftmedrivning (Dath & Mathiesen, 2007 Risk för fastfrysning av lucka finns.	Inga uppgifter. Risk för fastfrysning av lucka finns i fallet med lucka.	Ej studerat.	Inga uppgifter. Risk för fastfrysning av lucka finns i fallet med lucka.	Känsligt för igensättning.	Inga uppgifter.

4 Energiomvandling

Energiomvandling har endast behandlats översiktligt för de beskrivna metoderna för att öka avbördningskapaciteten för en dammanläggning (kapitel 3).

Trappstegsformade utskovskanaler (*stepped spillways*) har inkluderats i litteraturstudien efter önskemål från referensgruppen, eftersom det kan vara ett utrymmesbesparande och kostnadseffektivt sätt att lösa energiomvandlingen från ett nytt eller befintligt utskov. Trappstegsformade utskov kan kombineras med olika typer av kontrollstrukturer och är främst en metod för att lösa energiomvandlingen och inte primärt ett sätt att öka avbördningskapaciteten.

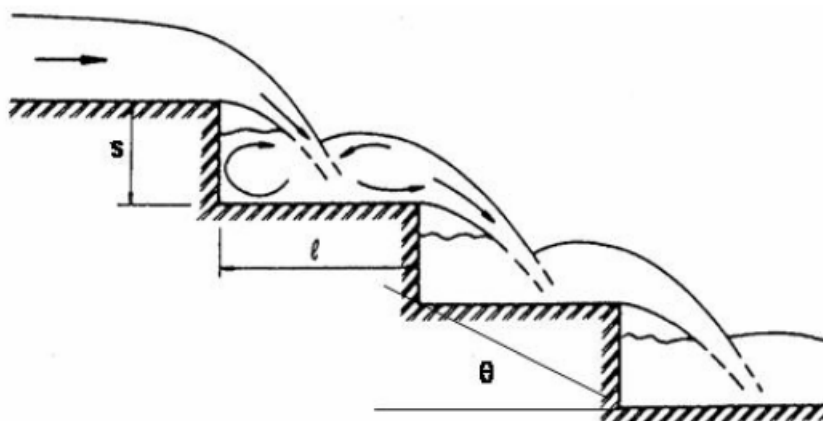
Eftersom syftet med projektet har varit att beskriva metoder för att öka avbördningskapaciteten beskrivs inte fler metoder för energiomvandling.

4.1 TRAPPSTEGSFORMAD UTSKOVSKANAL (STEPPED SPILLWAY)

4.1.1 Beskrivning

En trappstegsformad utskovskanal (eng. *stepped spillway*) är en avbördningsanordning som har en trappstegsformad utskovskanal. Kanalen kombineras utskov med med någon typ av överfall eller lucka, som är bestämmande för hur stor avbördningskapaciteten blir. Primärt är detta en metod för att hantera hela eller delar av energiomvandlingen i utskovskanalen, vilket gör att storleken på området för energiomvandling kan minskas [1].

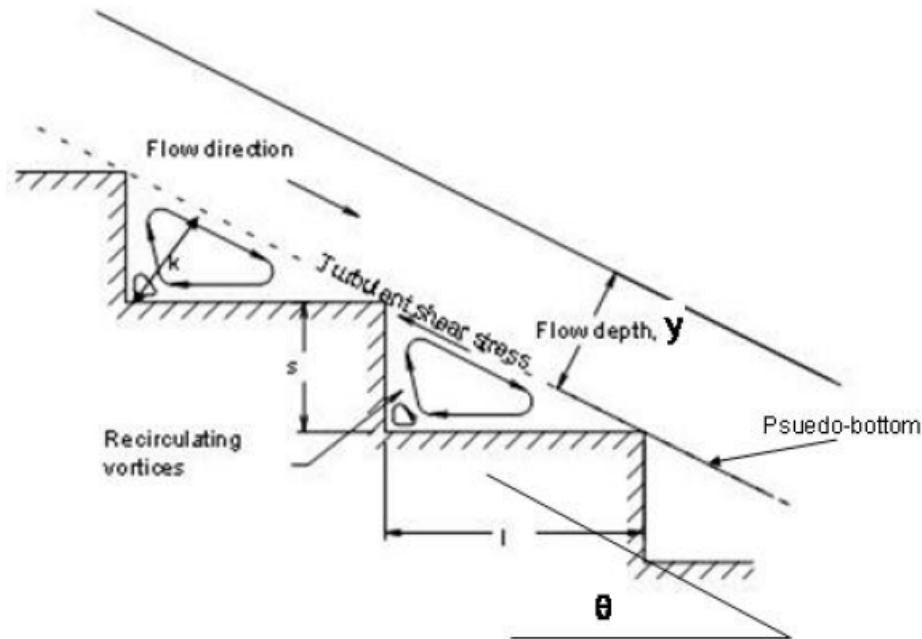
Effektivast energiomvandling fås då vattendjupet relativt trappstegen är lågt och då strömningen sker genom en serie av jetstrålar som faller från trappsteg till trappsteg ("*nappe flow*", Figur 15). [1] I vissa fall kan ett vattensprång bildas på de olika trappstegen, vilket ger ytterligare energiomvandling (USBR, 2006).



Figur 15 Principskiss av en trappstegsformad utskovskanal där strömningen sker som jetstrålar mellan trappstegen (USBR, 2006). I figuren visas ett partiellt utvecklat vattensprång.

Om vattendjupet är stort relativt trappstegen (p.g.a. större lutning eller högre flöde) övergår flödet till s.k. "*Skimming flow*", där flödet strömmar i en

sammanhängande ström med spetsarna på trappstegen som en tänkt botten (Figur 16). Strömningen är då mycket turbulent och luft tillförs på stora delar av sträckan. I de triangulära fickor, som bildas under den tänkta botten, bildas recirkulerande edor som i utbyte med strömningen ovan den tänkta botten ökar energiomvandlingen (USBR, 2015).



Figur 16 Principskiss av en trappstegsformad utskovskanal där strömningen sker genom "skimming flow" (USBR, 2006).

4.1.2 Hydrauliska aspekter

- **Ordinarie utskov eller reservutskov:** Kan användas i kombination med både ordinarie utskov och reservutskov.
- **Avbördningskapacitet:** Avbördningskapaciteten bestäms av den kontrollstruktur (överfall eller lucka) som används i kombination med den trappstegsformade utskovskanalen.
- **Påverkan uppströms:** Påverkan på uppströmsområdet bestäms av den kontrollstruktur som används i kombination med den trappstegsformade utskovskanalen.
- **Påverkan nedströms:** Inga uppgifter:
- **Energiomvandling:** Energiomvandling sker i trappstegsformationerna i utskovskanalen. Jämfört med en slät utskovskanal kan energiomvandlingen i en trappstegsformad utskovskanal bli upp till tre gånger så stor. Avgörande för hur stor energiomvandlingen blir är friktion, formmotstånd och effekter av luftinblandning (USBR, 2015). Energiomvandlingen sker till stor del i utskovskanalen, vilket gör att storleken på det område nedströms som behöver nyttjas för energiomvandling blir mindre.[1] Detta gör att kostnaderna kopplade till schaktning och mängden betong och armering inte blir lika stora jämfört med om en slät utskovskanal används (USBR, 2015).
- **Kavitation:** När strömningen sker genom jetstrålar från trappsteg till trappsteg ("nappe flow") är risken för kavitation liten eftersom luftinblandningen är hög

vid detta flödesförhållande. I trappstegsformade utskovskanaler där "*skimming flow*" uppkommer behöver risken för kavitation beaktas, eftersom hastigheterna kan bli höga och fickor med lågt luftinnehåll och tryckvariationer kan förekomma (USBR, 2015).

- **Igensättning av drivgods och is:** Ej beroende av den trappstegsformade utskovskanalen.

4.1.3 Konstruktionsaspekter

- **Grundläggning:** Grundläggs på berg.
- **Lokalisering:** Inga uppgifter.
- **Platsåtgång:** Platsåtgången för denna metod jämfört med andra metoder har inte bedömts av USBR. Energiomvandlingen sker till stor del i utskovskanalen vilket gör att storleken på det område nedströms som behöver nyttjas för energiomvandling blir mindre.[1]
- **Befintlig damm:** En trappstegsformad utskovskanal kan anläggas vid både betong- och fyllningsdammar (USBR, 2006).
- **Uppbyggnad:** Trappstegen kan byggas med hjälp av VKB, betong [1] eller i berg (USBR, 2015).
 - × Behov av el- och kontrollanläggning: Beror av kontrollstruktur.
 - × Behov av betongarbeten: Ja.
 - × Behov av schaktarbeten: Ja
 - × Behov av fyllningsarbeten: Nej.
 - × Behov av mekanisk utrustning: Beror av kontrollstrukturen.
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör trappstegsformade utskovskanaler i kallt klimat har hittats.

4.1.4 Drift- och underhållsaspekter

- **Möjlighet till reglering:** Regleringsmöjligheter beror av kontrollstrukturen.
- **Behov av inspektion och underhåll:** Inga uppgifter har hittats. Beror till stor del av vilken kontrollstruktur som används i kombination med den trappstegsformade utskovskanalen.
- **Möjlighet till funktionsprovning:** Möjligheter till funktionsprovning beror av kontrollstrukturen.
- **Behov av reparation/återställande efter användning:** Vanligen inget eller litet underhållsbehov efter aktivering
- **Kallt klimat:** Inga uppgifter som rör trappstegsformade utskovskanaler i kallt klimat har hittats.
- **Drivgods:** Inga uppgifter som rör drivgods har hittats.

4.1.5 Tillämplighet i Sverige

I Messaure har trappsteg sprängts ut ur berget i utskovskanalen. Inga särskilda uppgifter som påverkar tillämpning i svenska förhållanden har hittats. Dock bör det noteras att inga uppgifter rörande trappstegsformade utskov i kallt klimat har hittats. Svallis som kan uppkomma vid till exempel läckage kan släta ut trappstegen, vilket kan medföra en försämrad funktion.

5 Diskussion

Litteraturstudien

Litteratursökningen har gett olika mycket resultat för olika metoder och aspekter. Det finns mycket information om framförallt labyrintutskov, hävertutskov, schaktutskov, bottenutskov och mer konventionella metoder såsom luckförsedda ytutskov och olika varianter av överfallsutskov. För kontrollerad överströmning av dammar, trappstegsformade utskov, eroderbara dammdelar och fuse gates finns också relativt mycket information. För passiva luckor har endast ett litet antal artiklar hittats och de flesta av dessa är skrivna av tillverkarna av systemen. Även mycket information, som har hittats om fuse gates, är skrivet av tillverkarna. För bypass har litteratursökningen gett mycket begränsat resultat. För att minska detta informationsglapp kan intervjuer med t.ex. experter på turbiner i Sverige och internationellt göras.

Vissa aspekter är beskrivna i mindre eller ingen omfattning i den litteratur som har hittats. Dessa aspekter är framförallt relaterade till drift och underhåll och tillämpning i kallt klimat. För att belysa dessa aspekter ytterligare, för en enklare jämförelse mellan alternativen, kan en fallstudie göras för en verklig eller fiktiv anläggning. När det gäller tillämpning i kallt klimat skulle länder som t.ex. Norge och Kanada kunna kontaktas för att se om ytterligare underlag kan inhämtas eller om intervjuer kan göras med personer som har kännedom om anläggningar där de olika metoderna har tillämpats. Det är inte heller uteslutet att en mer utökad litteratursökning skulle kunna ge mer information.

Avbördningskapacitet

En grov jämförelse mellan de olika avbördningsmetodernas avbördningskapacitet som baseras på USBR:s inventering presenteras i denna rapport. För en mer detaljerad jämförelse mellan olika alternativ skulle ett antal exempel kunna studeras, där avbördningskapaciteten för olika metoder på samma tillgängliga yta presenteras.

Tillämpning - svenska förhållanden

De olika metoder, som beskrivs i kapitel 3, lämpar sig olika väl beroende på dammanläggningens specifika förutsättningar och beroende på vad anledningen till behovet att förändra anläggningens avbördningsystem är. Ingen av metoderna passar för att tillgodose alla möjliga behov och förutsättningar.

Utmärkande för svenska förhållanden är det kalla vinterklimatet. Ett antal av de metoder som beskrivits i denna rapport är eller kan vara känsliga för igenfrysning. Huruvida detta blir ett problem vid tillämpning av dessa metoder i Sverige beror på under vilken period på året metoden är tänkt att användas och om det är möjligt att förändra utformningen på ett sådant sätt att problemet försvinner. I en del fall kan det vara möjligt att utskovet hinner tina upp innan det ska tas i bruk eller så kan problemet lösas med isfrihållning.

En annan sak som är utmärkande, men inte unik, för svenska förhållanden är att dammarna ligger på rad och relativt nära varandra i ett vattendrag i större

utsträckning än i många andra länder. Detta gör att metoder där flödesstegringen är mycket snabb kan vara olämplig för vissa dammanläggningar. Gradvis öppning av luckorna kan vara eftersträfvansvärt eller nödvändigt i vissa fall.

Inga generella slutsatser gällande tillämpning i svenska förhållanden kan dras utifrån litteraturstudien. För att få en bättre bild skulle intervjuer med dammägare där de olika metoderna som har anläggningar där de olika metoderna redan tillämpats i svenska förhållanden kunna göras. En möjlighet är också att göra en utökad litteratursökning med inriktning mot Norge, Kanada och andra länder som har liknande klimat som Sverige.

Kostnader

I denna rapport har inte kostnaden för de olika avbördningsmetoderna behandlats. Vid jämförelse av kostnader bör förlust av vatten i magasinet medräknas såväl som konstruktionskostnader och drift- och underhållskostnader. Hur stora kostnader en specifik metod medför kan skilja mycket beroende på platsspecifika förutsättningar. Det finns en del litteratur avseende kostnader för olika metoder, men eftersom uppgifter kommer från olika källor och ofta är knutna till en fallstudie är det svårt att använda för enkel jämförelse mellan de olika alternativen. För att belysa hur stora kostnader de olika metoderna är förenade med skulle en fallstudie kunna göras. Ett annat sätt att belysa kostnaderna skulle kunna vara att bedöma kostnaderna för de olika alternativen på en relativ skala genom att bedöma om t.ex. de betongarbeten som krävs är små, mellan eller stora. En bedömning på detta vis är förenad med antaganden som kan göra att kostnaderna skiljer mycket beroende på vilka antaganden som görs. Till exempel om ett helt nytt utskov ska byggas eller om en befintlig anläggning ska byggas om.

Drift och underhåll

Litteraturstudien har gett mycket begränsat resultat gällande drift- och underhållsaspekter. Vissa avbördningslösningar kanske kan vara mycket avbördnings säkra, även om man låter dessa anordningar degraderas rejält innan åtgärd vidtas, vilket ger möjlighet för att hantera dessa antingen genom investeringsstrategier eller genom underhåll. Andra lösningar kanske har ett betydligt större behov av kontinuerligt underhåll och provning (även om det inte avser så omfattande underhållsarbeten). För att ytterligare belysa drift och underhållsaspekter bör intervjuer kunna göras med personer, som har kännedom om dammanläggningar där respektive avbördningsanordningar redan finns. Ett annat sätt att belysa detta skulle kunna vara att bedöma underhållsbehovet för de olika alternativen på en relativ skala utgående från till exempel ett konventionellt luckutskov.

6 Förslag till fortsatt arbete

Förslag till fortsatt arbete samt föreslagen prioritetsordning:

- Kompletterande intervjustudie för att minska det informationsglapp som finns i litteraturstudien. (Prioritet 1)
- Utökad litteraturstudie med särskild inriktning på drift och underhåll och tillämpning i kallt klimat. (Prioritet 1)
- Fallstudie – Jämförelse mellan olika metoder med avseende på avbördningskapacitet, kostnader, etc. (Prioritet 2, utförandealternativ 1)
- Bedömning av kostnader och underhållsbehov för jämförelse mellan de olika avbördningsmetoderna. (Prioritet 2, utförandealternativ 2)

För de punkter som har förslagen prioritetsordning 2 är målet med arbetet samma men det finns två olika utförandealternativ.

7 Referenser

[1] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. 2014. *Design Standards No. 14 Appurtenant Structures for Dams (Spillways and Outlet Works) Design Standard. Chapter 3: General Spillway Design Considerations.*

[2] Khatsuria, R.M. 2005. *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*. New York: Marcel Dekker.

[3] ICOLD Committee on Hydraulics for Dams, 2012, Bulletin 142 on Safe Passage of Extreme Floods.

Ait Alla, A. *The role of fuse gates in dam safety – Hydropower and Dams*, Issue six, 1996.

Allen, P. 2009. *Operation of Spillways gates – How to Avoid the Problems and Pitfalls*. 34th Annual Old Water Industry Operations Workshop. June 2009

Anderson, R. M., & Tullis, B. P. 2013. *Piano Key Weir Hydraulics and Labyrinth Weir*. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000530. American Society of Civil Engineers.

Bergh, H. 2014. *Utskov, vattenvägar och vindgenererade vågor*. Kursmaterial: Dammar och dammsäkerhet. 2014/2015.

Crookston, B.M., Mortensen, D. Stanard. T., Tullis, B.T. & Vasquez, V.M. 2015. *Debris and Maintenance of Labyrinth Spillways*. USSD 2015 Annual Conference.

Dabbling, M. R. & Tullis, B. P. 2012. *Piano Key Weir Submergence in Channel Applications*. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000563. American Society of Civil Engineers.

Dath, J. & Mathiesen, M. 2007. *Förstudie hydraulisk design - Inventering och översiktlig utvärdering av bottenutskov i svenska dammanläggningar*, Elforsk rapport 10:87, 2007.

Hepler, T.E. 2014. *Technical manual: Overtopping protection for dams*, International Seminar on Dam Protection against Overtopping and Accidental Leakage

Hydroplus, 2017. *Classic Fusegate*.

http://www.hydroplus.com/hydroplus/hydroplus.nsf/web/hausse_classique.htm&lng=L2. 2017-03-03

ICOLD – Technical Committee on Hydraulics for Dams. *Technical Advancements in Spillway Design - Progress and Innovations from 1985 to 2015*.

Khanh, M. H. T. 2014. *PKW projects in Vietnam*. Power Point Presentation. PKW workshop Oyonnax. 2014-12-03

Leyland, B. 2014. *Small hydroelectric Engineering Practice*. London: Taylor & Francis Group.

Lysne, D.K., Glover, B., Støle, H. & Tesaker, E. 2003. *Hydraulic Design*. Hydropower Development. Volume 8. Norwegian University of Science and Technology Department of Hydraulic and Environmental Engineering.

Rodionov, V.B., Onipchenko, G.F. & Rayssiguier, J. 2004. *Hydroplus Fusegate System: Analysis of Winter Monitoring Data at the Khorobrovskaya HPP*. 17th International Symposium on Ice Saint Petersburg, Russia, 21-25 June 2004. International Association of Hydraulic Engineering and Research

Rundqvist, J. & Ygland, D. 1999, *Anpassning av fyllnadsdammar för att motstå tillfällig överdämning*. Elforsk. Rapport 99:25.

Schleiss, A.J. 2011. *From Labyrinth to Piano Key Weirs – A historical review* Proc. of International Conference on Labyrinth and Piano Key Weirs (PKW 2011), p. 3-15 London: CRC Press, Taylor & Francis Group

Tanchev, L. 2004. *Dams and Appurtenant Hydraulic Structures*. 2nd Edition. Taylor & Francis Group

Townshend, P.D. utan årtal. *Automatic Control Gates and Valves: Selection and Features.*, AmanziFlow Projects, Johannesburg, South Africa

Townshend, P.D., Holdt, J., Holdt, R. utan årtal. *Innovative Systems to Improve Spillway Capacity, Safety and with Minimal Maintenance*, AmanziFlow Projects, Johannesburg, South Africa

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR). 2006. *Research State-of-the-Art and the Needs for Hydraulic Design of Stepped Spillways*. Hydraulic Laboratory Report HL-2005-06, Hydraulic Investigations and Laboratory Services Denver, Colorado

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR). 2015. *Guidelines for Hydraulic Design of Stepped Spillways*. A Water Resources Technical Publication Hydraulic Laboratory Report HL-2015-06. Hydraulic Investigations and Laboratory Services Denver, Colorado

Wiliem, L, Keogh, R. & Thomas, D. 2014. *Do You Really Know/Understand Your Assets' Risk?* SunWater Limited

ÖKAD AVBÖRDNINGSFÖRMÅGA

Behovet av att öka avbördningskapaciteten för dammanläggningar har varit ett stort fokusområde inom dammsäkerhet över hela världen på senare tid.

Det här är en kunskapssammanställning av olika sätt att öka avbördningsförmågan för en vattenkraftsanläggning. Rapporten ger en översiktlig bild av de olika metoder som används, beskriver dess för- och nackdelar och hur de tillämpas i Sverige.

Resultatet av studien är att inga generella slutsatser för avbördning i svenska förhållanden kan dras. De olika metoderna lämpar sig olika väl beroende på dammanläggningens specifika förutsättningar och beroende på vad anledningen är till behovet att förändra anläggningens avbördningsystem. Ingen av metoderna passar för att tillgodose alla möjliga behov och förutsättningar.

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



Energiforsk