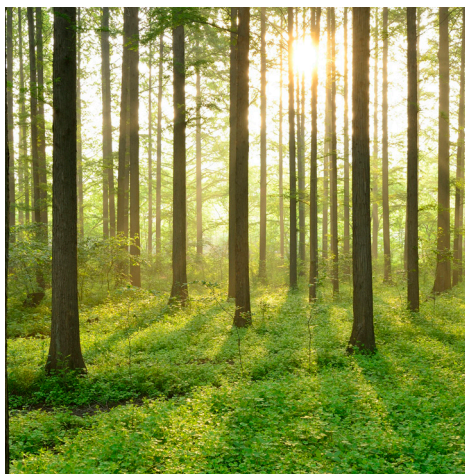


# KOSTNADS-/NYTTOANALYS FÖR BESTÄMNING AV DIMENSIONERANDE FLÖDE FÖR DAMMANLÄGGNINGAR

RAPPORT 2020:704





# **Kostnads-/nyttoanalys för bestämning av dimensionerande flöde för dammanläggningar**

Metodik och tillämpningsexempel

JONAS PERSSON, MAGNUS JEWERT OCH JOHAN ÖSTBERG

ISBN 978-91-7673-704-0 | © Energiforsk november 2020

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

**Enligt "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar" (2015) ska kostnads-/nyttoanalys användas för att bestämma det flöde en dammanläggning i flödesdimensionsklass II ska kunna motstå och framläppa. I denna rapport beskrivs en metodik för hur en sådan analys kan genomföras.**

Vid nästa revidering av riktlinjerna kan resultaten från detta projekt ligga till grund för en vägledning kring hur det dimensionerande flödet bör fastställas. Projektet har genomförts av Norconsult med Jonas Persson, Magnus Jewert och Johan Östberg som utförare. Referensgruppen bestod av Romanas Wolfsborg (Vattenfall), Lars Johnsson (Jämtkraft), Nils Isaksson (Fortum), Uno Kuoljok (Uniper), Karen Kemling (Vattenregleringsföretagen), Maria Bartsch (Svenska kraftnät) och Karin Persson (Statkraft).

Projektet har ingått i Energiforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete med medverkan av vattenkraftindustrin och Svenska kraftnät.

Författarna ansvarar för rapportens innehåll.

## Sammanfattning

**Projektet syftar till att beskriva en metodik som kompletterar befintliga riktlinjer för att bestämma dimensionerande flöde för dammanläggningar. Målet är att metodbeskrivningen ska kunna ge vägledning för bestämning av dimensionerande flöde för anläggningar med dammar i dammsäkerhetsklass, främst där en rimlighetsbedömning indikerar att dimensionerande flöde bör ligga mellan ett 100-årsflöde och ett klass I-flöde.**

I rapporten ges en beskrivning av hur ett dimensionerande flöde kan bestämmas med utgångspunkt från dammsäkerhetsklass och anläggningens förutsättningar, istället från med utgångspunkt från flödesdimensioneringsklass. En metodbeskrivning för en kostnads/nyttoanalys för bestämning av dimensionerande flöden mellan 100-årsflöde och flödesdimensioneringsklass I-flöde ges. Metodiken beskrivs i text i rapporten samt i två flödesscheman samt illustreras med 4 st tillämpningsexempel. En internationell utblick med riktlinjer, vägledningar och praxis på området i Norge, USA, Kanada och Frankrike har utförts och resultatet från den sammanfattas i korthet.

För att bestämma och välja det dimensionerande flödet,  $Q_{dim}$  används i rapporten termen "brytpunktsflöde" ( $Q_{bryt}$ ).  $Q_{bryt}$  är inget allmänt begrepp, utan införs att användas i detta projekt och är det lägsta flöde vid vilket inga merskador uppstår till följd av ett dammhaveri, d.v.s. dammhaveri vid lägre flöden än  $Q_{bryt}$  ger merskador. Det dimensionerande flödet kan som utgångspunkt väljas till  $Q_{bryt}$ .

En iterativ metodik kan användas till att identifiera  $Q_{bryt}$ . Denna metodik kan innebära att numeriska flodvågsberäkningar utförs, med olika storlek på det tillrinnande flödet men kan också användas genom att kvantitativa och/eller kvalitativa inter- och extrapoleringar görs av bedömda merskador vid de flödessituationer som använts i konsekvensutredningen. Kravet på hur noggrant  $Q_{bryt}$  ska bestämmas bör styras av den aktuella dammsäkerhetsklassen.

För vissa anläggningar finns inget  $Q_{bryt}$  utan merskador uppstår i hela flödesregistret upp till beräknat högsta flöde (BHF). BHF ska då väljas som  $Q_{dim}$ .

Generellt gäller att ju högre dammsäkerhetsklass en damm har desto högre krav på säkerhetsmarginal mot dammhaveri. Anläggningar i dammsäkerhetsklass A, B och C skall vid dämningssgränsen klara att avbörda ett tillrinnande flöde med en återkomsttid om minst 100-år om denna kombination av flöde och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten. Den föreslagna metodiken anger också att anläggningar i dammsäkerhetsklass A och, B där ett haveri vid höga flöden ger stora konsekvenser, *alltid* får BHF som dimensionerande flöde. Detta i enlighet med de befintliga riktlinjerna.

För anläggningar i dammsäkerhetsklass B, där ett haveri vid höga flöden ger mindre konsekvenser eller dammanläggningar där skadebilden består av enstaka bostadshus och där förutsättningar för evakuering finns, kan avsteg från BHF tillåtas enligt den föreslagna metodiken. En förutsättning är att det går att visa att



sannolikheten för ett dammhaveri kan hållas på en tillfredsställande låg nivå med ett  $Q_{dim}$  som motsvarar ett lägre flöde än BHF. Detta kan åstadkommas genom olika riskreducerande åtgärder såsom beredskapsplanering inklusive varnings- och evakueringsrutiner.

För anläggningar i dammsäkerhetsklass B eller C, där förlust av människoliv *inte* är en del av skadebilden vid dammhaveri under höga flöden, väljer/föreslår dammägaren ett  $Q_{dim}$  och visar att valt  $Q_{dim}$  medför en tillfredsställande nivå av dammsäkerhet. Detta görs genom en kostnads-/nyttoanalys.

Vidare anger metodiken att anläggningar som beslutats vara utan dammsäkerhetsklass, U (D och E enligt RIDAS 2019) *inte* skall ha några krav på dimensionerande flöde, i enlighet med de befintliga riktlinjerna. En kostnads-/nyttoanalys kan trots detta vara ett bra verktyg för att bestämma storleken på det dimensionerande flödet.

## Summary

**The project aims to describe a way of working to select an appropriate inflow design flood for dams. The objective is to give guidance in how to accommodate inflow design flood for dams with hazard potential classification, mainly for dams where a plausibility assessment indicates that the inflow design flood should be between a 100-year flood and probable maximum flood (PMF).**

The report gives a description of how an inflow design flood can be selected with a starting point from dam prerequisites and hazard potential classification. A way of working to accommodate inflow design flood in the interval of a 100-year flood to probable maximum flood including, cost-benefit analyses is given. Four application examples from studies of Swedish dams is used to illustrate the way of working. An international outlook with guidelines, guidance and practice from Norway, US, Canada and France has been compiled.

The definition in Sweden of the inflow design flood (IDF) is the largest flood that a dam can resist and that passes through the spillway and outlet works without damaging the dam itself. To accommodate inflow design flood the term "maximum flow with impacts" is used in this report. The term is not generally recognized but is used in this report to explain a way of working and is defined as the flood above which there are no significant impacts on downstream life and/or property. For some dams there is no "maximum flow with impacts" and significant impacts occurs regardless of size of flood flow. IDF should then be selected as PMF.

In general, the higher hazard potential class a dam has the higher requirement for safety margin when it comes to dam failure. In this project it is proposed that dams in hazard potential class "A" always should select PMF as IDF, which is in accordance with the current official guidelines. It is also proposed that dams without hazard potential class, "class U" ("D" and "E" according to RIDAS 2019) is proposed to have no requirements for IDF. However, if the dam-owner so desires the proposed way of working with cost-benefit analyses may be a suitable tool to accommodate IDF.

Further proposal is that dams in hazard potential class "B", where loss of life is a part of the impacts downstream, as a starting point should have PMF as IDF. Exception from PMF is proposed to be accepted only if it is shown that the probability of dam failure can be held at a satisfactory low level, despite selecting a lower IDF. This can be achieved through risk-reducing measures. For dams in hazard potential classes "B" and "C" a flow larger than a 100-year flood are proposed to be selected as IDF. For dams in hazard potential classes "B" where endangerment of human life is not a part of the downstream impact or for dams in hazard potential classes "C" this study propose that the dam-owner selects IDF matching a satisfying level of dam safety. This is accomplished by using a cost/benefit analysis.



## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>8</b>
1.1	Bakgrund	8
1.2	Projektbeskrivning	8
1.3	Gällande klassificeringar	9
<b>2</b>	<b>Internationell utblick</b>	<b>12</b>
2.1	Användbart för svensk vägledning	13
<b>3</b>	<b>Förslag till arbetsgång för att bestämma dimensionerande flöde</b>	<b>14</b>
3.1	Flödesbenämningar som används i rapporten	14
3.2	Damsäkerhetsklass som utgångspunkt för $Q_{dim}$	16
3.3	Metodik för kostnad-/nyttoanalys	19
3.4	Illustrativa tillämpningsexempel	26
<b>4</b>	<b>Slutsatser och diskussion</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	<b>43</b>

## Bilagor

1. *Flödesschema 1 - Arbetsgång för att bestämma dimensionerande flöde*
2. *Flödesschema 2 – Arbetsgång för att bestämma brytpunktsflödet  $Q_{bryt.}$*

# 1 Inledning

## 1.1 BAKGRUND

Ett system för klassificering av dammar i dammsäkerhetsklasser infördes i miljöbalken 2014. Indelningen bygger på hur allvarliga konsekvenser ett dammhaveri skulle kunna medföra från samhällelig synpunkt. I prop. *Dammsäkerhet* (2013/14:38) uppmärksammas miljöbalkens princip om dammsäkerhet, d.v.s. att varje damm vid varje givet tillfälle ska ha den grad av säkerhet mot dammhaveri som är rimlig med hänsyn till kostnaden för att uppnå denna grad av säkerhet. Ju högre klass en damm tillhör, desto större konsekvenser av dammhaveri, och desto större kostnader är motiverade för att uppnå en viss grad av säkerhet. Principen innebär en rimlighetsavvägning mellan graden av säkerhet och kostnader för att uppnå den.

Enligt *”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar”* (2015) ska kostnads/nyttoanalys användas för att bestämma vilket flöde – högre än 100-årsflödet – som en anläggning i flödesdimensioneringsklass II ska kunna motstå och framsläppa utan allvarliga skada på dammanläggningen. Närmare beskrivning av hur en sådan analys bör göras saknas idag. I och med att ett konsekvensbaserat klassificeringssystem har införts i bindande regelverk bör riktlinjerna ses över och begränsas till att ge vägledning för beräkning av dimensionerande flöden. Vägledning kring hur det dimensionerande flödet bör fastställas med utgångspunkt från dammsäkerhetsklass bör istället ingå i Svenska Kraftnätets och branschens vägledning och riktlinjer för dammsäkerhet.

## 1.2 PROJEKTBESKRIVNING

Syftet med detta projekt är att ge underlag för en vägledning kring hur det dimensionerande flödet bör fastställas med utgångspunkt från dammsäkerhetsklass, med stöd av kostnads-/nyttoanalys i de fall där det är aktuellt.

Den huvudsakliga skillnaden mellan dammsäkerhetsklassificering och det klassificeringssystem som introducerades i *”Flödeskommitténs riktlinjer”* 1990, är att man vid flödesdimensionering endast behöver ta hänsyn till vilka konsekvenser ett dammhaveri skulle medföra vid haveri vid en flödessituation (marginaleffekten av ett dammhaveri vid höga flöden).

Den metodik som tas fram i detta projekt ska bygga på analys av marginalsador (merskador) av ett dammhaveri vid en flödessituation, d.v.s. den ökning av skadan på omgivningen som ett dammhaveri innebär utöver den skada som flödet skulle ha orsakat om dammen inte hade havererat. Konsekvenser av dammhaveri *”en solig dag”* ska således inte vara styrande för bestämning av dimensionerande flöde, även om detta scenario varit styrande för bestämning av dammsäkerhetsklass. Metodiken *”incremental hazard evaluation for inflow design flood determination”* ska användas som förebild (FERC, 2015-08).

Målet är att metodbeskrivningen ska kunna ge vägledning för bestämning av dimensionerande flöde för anläggningar med dammar i dammsäkerhetsklass, främst där en rimlighetsbedömning indikerar att dimensionerande flöde bör ligga mellan ett 100-årsflöde och ett klass I-flöde.

Metodiken är tänkt att ge stöd för bestämning av dimensionerande flöde med utgångspunkt från dammsäkerhetsklass, och på så vis kunna fasa ut den indelning av dammanläggningar i flödesdimensioneringsklasser som anges i *"Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar"* (2015).

Projektet innehåller tre delar som ska sammanställas i en Energiforskrapport:

1. Beskrivning av hur dimensionerande flöde kan bestämmas med *utgångspunkt från dammsäkerhetsklass* och andra faktorer, istället för med utgångspunkt från flödesdimensioneringsklass.
2. Upprättande av en metodbeskrivning för iterativ arbetsgång för bestämning av dimensionerande flöden mellan hundraårsflöde och flödesdimensioneringsklass I-flöde (kostnads-/nyttanalyt).
3. Upprättande av illustrativa tillämpningsexempel.

Litteraturstudier och omvärldsbevakning (kontakter med utländska aktörer) ger stöd till alla tre delar.

Fokus i detta projekt är inte på den metodik som används för konsekvensutredningar, för att bestämma dammsäkerhetsklass. Rapporten behandlar inte heller de hydrologiska metoder som används för att bestämma vare sig återkomsttid eller storlek på flöden.

### 1.3 GÄLLANDE KLASSIFICERINGAR

Här ges en kort sammanställning av hur de två gällande klassificeringssystemen för dammar är uppbyggda.

Den huvudsakliga skillnaden mellan dammsäkerhetsklassificering och klassificering för flödesdimensionering enligt *"Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar"* (Svensk Energi, 2015) är att man vid flödesdimensionering endast behöver ta hänsyn till vilka konsekvenser ett dammhaveri skulle medföra vid haveri i samband med *höga* flöden. Vid dammsäkerhetsklassificering tas hänsyn till konsekvenser vid såväl låga som höga flöden.

#### 1.3.1 Dammsäkerhetsklass

Ett system för klassificering av dammar i dammsäkerhetsklasser infördes i miljöbalken 2014. Indelningen bygger på hur allvarliga konsekvenser ett dammhaveri skulle kunna medföra från samhällelig synpunkt. I proposition *"Dammsäkerhet"* (2013/14:38) uppmärksammas miljöbalkens princip om dammsäkerhet, d.v.s. att varje damm vid varje givet tillfälle ska ha den grad av säkerhet mot dammhaveri som är rimlig med hänsyn till kostnaden för att uppnå denna grad av säkerhet.

Ju högre klass en damm tillhör, desto större konsekvenser av dammhaveri, och desto större kostnader är motiverade för att uppnå en viss grad av säkerhet. Principen innebär en rimlighetsavvägning mellan graden av säkerhet och kostnader för att uppnå den.

Bedömningen av de sammantagna skadeverkningarna ur samhällelig synpunkt vid ett dammhaveri, utgör grund för beslut om dammsäkerhetsklass. Enligt 11 kap 25 § Miljöbalken ska förslag på klassificering enligt dammsäkerhetsklass A, B och C föreslås av dammägaren. Om konsekvenserna har liten betydelse ur samhällelig synpunkt ska anläggningen inte tillhöra en dammsäkerhetsklass och benämns "U".

I Svenska Kraftnäts *"Konsekvensutredningar och dammsäkerhetsklassificering"* 2017/773 ges utförligare information om konsekvensutredningar och dammsäkerhetsklassificering.

### 1.3.2 Flödesdimensioneringsklass

Definition av flödesdimensioneringsklass och riktlinjer för hur ett dimensionerande flöde för en dammanläggning ska bestämmas, beskrivs i *"Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden"* (Svensk Energi, 2015). Nedanstående utklipp inklusive figur 1.1 är hämtade därifrån.

*"Vid bestämningen av de dimensionerande flödena tillämpas en indelning i flödesdimensioneringsklasser, som bygger på vilka konsekvenser dammbrott skulle kunna medföra i samband med höga flöden.*

*Flödesdimensioneringsklass I tillämpas för dammanläggningar som i händelse av dammbrott skulle kunna medföra förlust av människoliv eller annan allvarlig personskada, allvarlig skada på infrastruktur, betydande miljövärde eller annan stor ekonomisk skadegörelse.*

*Flödesdimensioneringsklass II tillämpas för dammanläggningar som, i händelse av dammbrott, skulle kunna medföra betydande skador endast på infrastruktur, egendom eller miljövärde.*

*Övriga dammar, som vid dammbrott inte skulle medföra ovan nämnda skador, tillhör flödesdimensioneringsklass III."*

Flödesdimensioneringsklass	Konsekvens vid dammbrott (utöver de konsekvenser som följer av flödet i sig om dammen inte rasat)	Avbördningskrav
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Icke försumbar sannolikhet för förlust av människoliv eller annan allvarlig personskada</li> <li>eller</li> <li>Beaktansvärd sannolikhet för allvarlig skada på viktig trafikled, dammanläggning eller därmed jämförlig anläggning eller på betydande miljövärde</li> <li>eller</li> <li>Hög sannolikhet för stor ekonomisk skadegörelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dammanläggningen ska, utan allvarlig skada på dammanläggningen, kunna motstå och framsläppa ett dimensionerande flöde, som beräknas enligt anvisningarna i avsnitt 5.</li> <li>Dammanläggningen ska vid dämmningsgränsen även kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år, om denna kombination av tillrinning och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten, se anvisningar i avsnitt 6.</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Icke försumbar sannolikhet för betydande skada på trafikled, dammanläggning eller därmed jämförlig anläggning, miljövärde eller annan än dammägaren tillhörig egendom i andra fall än som angetts vid flödesdimensioneringsklass I.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dammanläggningen ska vid dämmningsgränsen kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år, om denna kombination av tillrinning och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten, se anvisningar i avsnitt 6.</li> <li>Dammanläggningen ska dessutom anpassas till ett flöde, som utan allvarlig skada på dammanläggningen, ska kunna motstås och framsläppas. Detta högre flöde bestäms genom kostnads-/nyttoanalys.</li> </ul>
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Försumbar sannolikhet för skada enligt ovan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berörs ej i dessa riktlinjer.</li> </ul>

Figur 1.1: Flödesdimensioneringsklasser för bestämning av dimensionerande flöden (Svensk Energi, 2015).

## 2 Internationell utblick

Det genomfördes en internationell utblick, i form av att frågor ställdes till olika utländska aktörer, om hur det arbetas med dimensionerande flöde i deras respektive land – praxis, riktlinjer och vägledning. Detta för att om möjligt få nyttiga influenser till det fortsatta arbetet i projektet, med att ta fram ett förslag på en svensk arbetsgång för att bestämma dimensionerande flöde.

Nedanstående frågor ställdes till de utländska aktörerna:

1. Används konsekvensklassificering i ert land och hur är det i så fall definierat – klassindelning, kriterier o.s.v.? (Detta för att se vilken koppling som finns mellan dammsäkerhetsklass och dimensionerande flöde).
2. Finns det några riktlinjer, föreskrifter eller vägledning, t.ex. nationella, för att bestämma dimensionerande flöde för en dammanläggning? Om ja, följdfrågor a-d:
  - a. Är det dimensionerande flödet kopplat till anläggningens konsekvensklass? Hur?
  - b. Är en kostnad-/nyttoanalys inkluderad i riktlinjen och i så fall hur?
  - c. Tas hänsyn till riskreducerande åtgärder som t.ex. en lokal beredskapsplan, d.v.s. att det dimensionerande flödet kan begränsas på grund av en väl utarbetad lokal beredskapsplan?
  - d. Finns det något definierat lägsta acceptabla dimensionerande flöde, t.ex. 100-årsflödet eller annat?
  - e. Om svaret är nej på fråga 2, besvara följande följdfråga: hur bestäms dimensionerande flöde – finns det någon "best practice" i branschen?
3. Kan ni dela med er av några illustrativa tillämpningsexempel på hur era riktlinjer/föreskrifter/vägledningar eller praxis kan tillämpas? Gärna för några dammar med olika egenskaper: storlek, konsekvensklass m.m. samt hur diskussioner och utredningar utfördes.

Utöver dessa frågor bifogades FERC:s vägledning "*Chapter II - Selecting and accomodating inflow design floods for dams*" (FERC, 2015-08) till de utländska aktörerna.

Fråga 1, som avser om de använder konsekvensklassificering och hur det systemet i så fall är uppbyggt, är relevant för att fråga 2 angående dimensionerande flöde ska kunna sättas i ett sammanhang.

Nedan i delavsnitt 2.1 sammanfattas det som författarna bedömer som användbart underlag för arbetet med en framtida svensk vägledning, utifrån de inkomna svaren.



## 2.1 ANVÄNDBART FÖR SVENSK VÄGLEDNING

Uppdraget går ut på att ta fram underlag för en svensk vägledning för bestämning av dimensionerande flöde utifrån kostnads-/nyttoanalys. Detta innebär inslag av ett stegvist förfarande likt det som beskrivs i FERC:s vägledning. Detta förfarande används framförallt i USA och i Kanada, bland de länder som den internationella utblicken omfattade.

Inte i något av de länder som utblicken omfattade används ett förfarande som kan användas rakt av i Sverige. Detta kan bero på att Sverige har ett annat system än de flesta andra länder, då det i Sverige generellt lämnas större ansvar och frihet till dammägaren att bestämma dimensionering av sin anläggning. Det land som kanske har mest likartat system som Sverige i det avseendet är Kanada, även om det förekommer skillnader mellan landets provinser.

I flera av de aktuella länderna ges det dimensionerande flödet direkt av dammsäkerhetsklassen, men i USA och i Kanada finns beskrivningar av ett stegvist förfarande för att bestämma det dimensionerande flödet – i vägledningar från FERC (2015) respektive för provinsen Ontario (Ontario Ministry of Natural Resources, 2011-08). För Ontario finns valet att direkt utifrån dammsäkerhetsklassen och omfattningen av merskadorna (antalet förlorade liv eller kostnader för andra typer av merskador) välja ett dimensionerande flöde, eller använda ett stegvist förfarande.

### Kostnads-/nyttoanalys

Det har inte framkommit att det i något av de aktuella länderna används kostnads-/nyttoanalys för att bestämma det dimensionerande flödet. Det utreds vid vilket flöde som merskadorna vid ett dammhaveri upphör, med ett stegvist förfarande, men kostnader för åtgärder för att dimensionera en anläggning för ett visst flöde ställs inte mot den nytta som åtgärderna medför. Därför finns inget användbart för en svensk vägledning, i det avseendet.

### Riskreducerande åtgärder

Vidare finns exempel på vägledningar där det är tillåtet att reducera det dimensionerande flödet om det kan visas att riskreducerande åtgärder kan bidra till att sannolikheten för dammhaveri kan hållas på en tillfredsställande låg nivå. Med riskreducerande åtgärder avses här åtgärder som reducerar risken för skador vid ett haveri, till en tillräckligt låg nivå. Detta kan vara tekniska åtgärder som t.ex. invallningar av skadeobjekt eller utarbetande av en lokal beredskapsplan innehållande varnings- och utrymningsrutiner. Eller en kombination av dessa två typer av åtgärder. I vägledningen för provinsen Ontario i Kanada finns en sådan skrivelse, gällande varnings- och utrymningsrutiner (Ontario Ministry of Natural Resources, 2011).

### Minimikrav på dimensionerande flöde

Minimikravet på dimensionerande flöde ( $Q_{dim}$ ) är i de flesta länder 100-årsflödet ( $Q_{100}$ ). Det finns undantag där kravet är ett lägre flöde, ner till 25-årsflöde.

## 3 Förslag till arbetsgång för att bestämma dimensionerande flöde

Arbetsgången är avsedd som ett komplement till *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden* för att bestämma en dammanläggnings dimensionerande flöde. Den kan tillämpas på alla anläggningar där ett haveri ger upphov till merskador. I bestämningen görs en avvägning mellan en uppgradering av anläggningen, för att motstå ett flöde där merskador upphört (eller för ett beräknat högsta flöde), och andra åtgärder som kan öka dammsäkerheten.

### 3.1 FLÖDESBENÄMNINGAR SOM ANVÄNDS I RAPPORTEN

Nedan beskrivs några flöden som används i rapporten. De flesta av benämningarna är inte nya, men förtydligas här.

#### 3.1.1 100-årsflöde ( $Q_{100}$ )

Flödet motsvarar en tillrinning som uppträder med en återkomsttid på 100 år. 100-årsflödet grundas på tidsserier av tillrinningsdata och kan tas fram och representeras på olika sätt: som ett stationärt flöde eller som en hydrograf. I detta projekt ingår inte att beskriva den metodik som kan användas för att bestämma (beräkna) ett 100-års flöde. I *”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden”* (2015) finns en beskrivning av metodiken när det gäller framtagande av stationära 100-års flöden. För närvarande pågår ett arbete för att ta fram metodik för hur en hydrograf med ett 100-årsflöde kan bestämmas (RIDAS 2019).

100-årsflödet är relevant i sammanhanget kring att bestämma dimensionerande flöde, eftersom det är flöde som många svenska dammar är dimensionerade för, åtminstone avseende avbördningskapacitet. Vidare har 100-årsflödet varit ett av flödena som studerats i många, kanske de flesta, konsekvensutredningar. 100-årsflödet benämns som  $Q_{100}$  i denna rapport.

#### 3.1.2 Beräknat högsta flöde (BHF)

Beräknat högsta flöde (BHF) är ett flöde (hydrograf) som är beräknat enligt *”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden”* (2015) för klass I-flöde, d.v.s. BHF ersätter i denna rapport benämningen *”klass I-flöde”*, som utgår. BHF är det högsta dimensionerande flöde en dammanläggning kan ha.

BHF har f.ö. använts i MSB:s översvämningsskarteringar, varför det är ett semi-etablerat begrepp. I MSB används ofta BHF som ett stationärt flöde med storleken av hydrografens toppvärde, men inom dammsäkerhetsanalyser används ofta en hydrograf.

#### 3.1.3 Dimensionerande flöde ( $Q_{dim}$ )

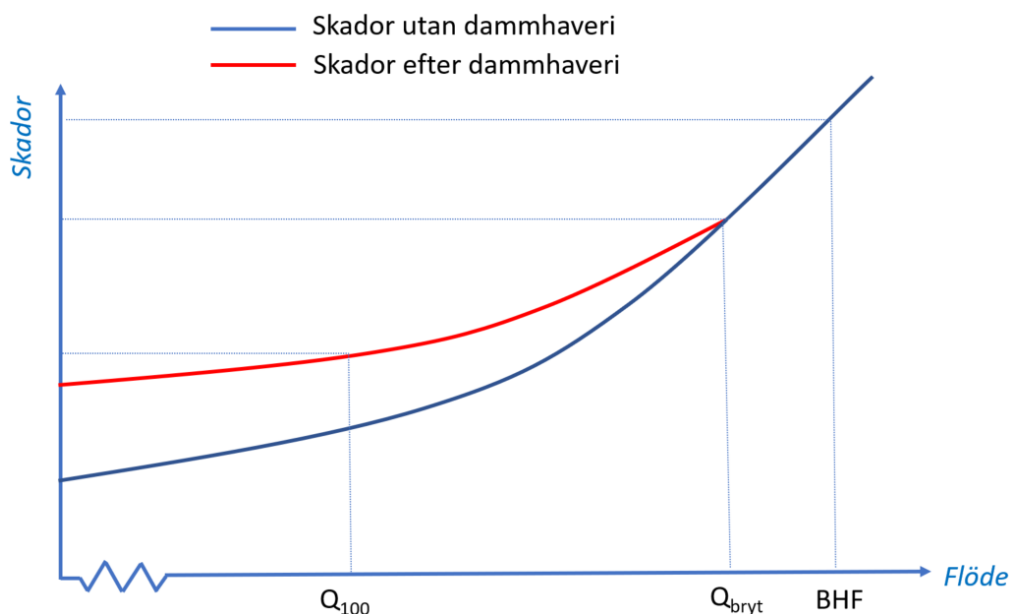
Enligt *”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar”* (2015) ska kostnads/nyttoanalys användas för att bestämma vilket flöde – högre än 100-årsflödet – som en anläggning i flödesdimensioneringsklass II ska kunna

motstå och framsläppa utan allvarliga skada på dammanläggningen. Närmare beskrivning av hur en sådan analys bör göras saknas idag. Ur de riktlinjerna hämtas definitionen av dimensionerande flöde som att: "Dammanläggningen ska anpassas till...ett flöde, som utan allvarlig skada på dammanläggningen, ska kunna motstås och framsläppas".

Ett förslag till komplettering av metodiken i "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden", genom att tillämpa kostnads-/nyttoanalys för bestämning av dimensionerande flöde, ges i avsnitt 3.3. Det dimensionerande flödet benämns som " $Q_{dim}$ " i denna rapport.

### 3.1.4 Brytpunktsflöde ( $Q_{bryt}$ )

Brytpunktsflöde är inget allmänt begrepp, utan införs att användas i detta projekt. Definition: för högre tillrinningar än brytpunktsflödet bedöms inga merskador uppstå till följd av ett dammhaveri - se figur 3.1 för en illustration.



Figur 3.1: Grafisk jämförelse mellan skador utan och efter dammhaveri, beroende på flöde (tillrinning). Detta är ett exempel där  $Q_{bryt}$  ligger mellan  $Q_{100}$  och BHF, men det gäller inte generellt.

Typen av illustration är hämtat från "Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams" (FEMA, 2013-08). I figuren ligger brytpunktsflödet mellan  $Q_{100}$  och BHF, men det är endast ett exempel d.v.s. gäller inte generellt.

Brytpunktsflödet föreslås att användas som *utgångspunkt* vid diskussioner om val av storleken på det dimensionerande flödet ( $Q_{dim}$ ). Det kan finnas motiv till varför det dimensionerande flödet bör vara lägre, eller större, än brytpunktsflödet. Mer om detta i avsnitt 3.3. Brytpunktsflödet benämns som " $Q_{bryt}$ " i denna rapport.

Brytpunktsflödet bestäms genom att bedöma merskador för ett antal olika tillrinningar, och behovet av hur noggrant dess storlek bör bestämmas avgörs från fall till fall. Om  $Q_{bryt}$  behöver/önskas bestämmas noggrant, görs detta i ett stegvist förfarande enligt beskrivning i avsnitt 3.3.2.

För vissa anläggningar finns dock inget brytpunktsflöde. Den röda linjen i figur 3.1 ligger då högre än den blå för alla flöden. En sådan skadebild är vanlig bland anläggningar med dammsäkerhetsklass A men kan även finnas för anläggningar av annan dammsäkerhetsklass.

### 3.2 DAMMSÄKERHETSKLASS SOM UTGÅNGSPUNKT FÖR $Q_{DIM}$

Dammsäkerhetsklassen beslutas efter genomförd konsekvensutredning, där skador till följd av ett dammhaveri utvärderas. Merskador definieras som skador som uppstår till följd av ett dammhaveri utöver skador som orsakas av flödet i sig då anläggningens dämmande funktion är intakt. Generellt kan sägas att ju högre dammsäkerhetsklass desto högre krav ställs på säkerhetsmarginal mot dammhaveri.

I en konsekvensutredning studeras skador till följd av dammhaveri vid några olika flödessituationer – vid normala och vid höga tillrinnande flöden. För vissa dammanläggningar uppstår skador och merskador vid dammhaveri vid alla flödessituationer, d.v.s. oavsett det tillrinnande flödets storlek. För andra dammanläggningar uppstår skador endast vid dammhaveri vid normala flöden eller eventuellt endast vid höga flöden i form av merskador. För åter andra dammanläggningar inträder merskador först en bit upp i flödesregistret för att sedan upphöra vid ett ännu högre flöde.

Man kan tänka sig några olika kombinationer där skador till följd av haveri uppträder i olika delar av flödesregistret.

- Merskador finns vid höga flöden och även vid BHF. Skadebilden gäller dammar som tillhör flödesdimensioneringsklass I och kan gälla anläggningar med beslutad dammsäkerhetsklass A men kan även gälla dammar i annan beslutad dammsäkerhetsklass beroende på skadornas omfattning. Skadorna från ett dammhaveri är stora vid BHF vilket styr valet av dimensionerande flöde.
- Ett haveri medför skador vid normala flöden och merskador finns för höga flöden men upphör vid lägre flöde än BHF. Skadebilden gäller dammar som tillhör flödesdimensioneringsklass I och gäller framförallt anläggningar med beslutad dammsäkerhetsklass B eller C. Merskador från ett dammhaveri vid höga flöden är stora och styr valet av dimensionerande flöde.
- Skador vid haveri finns vid normala flöden men merskador finns inte vid höga flöden. Om skadan består av risk för förlust av människoliv är detta ett exempel på en dammsäkerhetsklass B-anläggning som tillhör flödesdimensioneringsklass II. Skadorna från ett haveri är stora vid normala flöden men merskadorna minskar vid ökande flöden vilket styr valet av dimensionerande flöde.

De krav på avbördningskapacitet som en anläggning ska klara styrs övergripande av de konsekvenser som kan tänkas uppstå av ett dammhaveri vid anläggningen under höga flöden. Utifrån kraven bestäms sedan det dimensionerande flödet med den metodik som beskrivs i *"Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden"* (2015). Eventuella avsteg från kraven i riktlinjerna kan motiveras genom en kostnads-nyttoanalys av en utbyggnad av avbördningskapaciteten vid

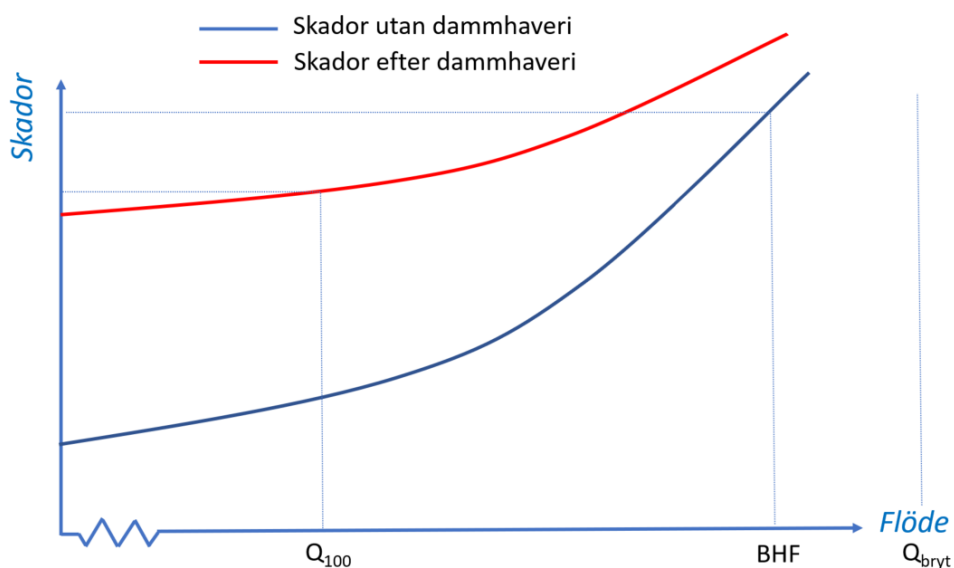
anläggningen genomförs. Ett förslag till metodik för en sådan kostnads-nytttoanalys beskrivs nedan.

För mer ingående beskrivning av dammsäkerhetsklasser hänvisas till Svenska Kraftnäts PM nr. 2017/2480 (2017-08-23).

### 3.2.1 Dammsäkerhetsklasser i korthet

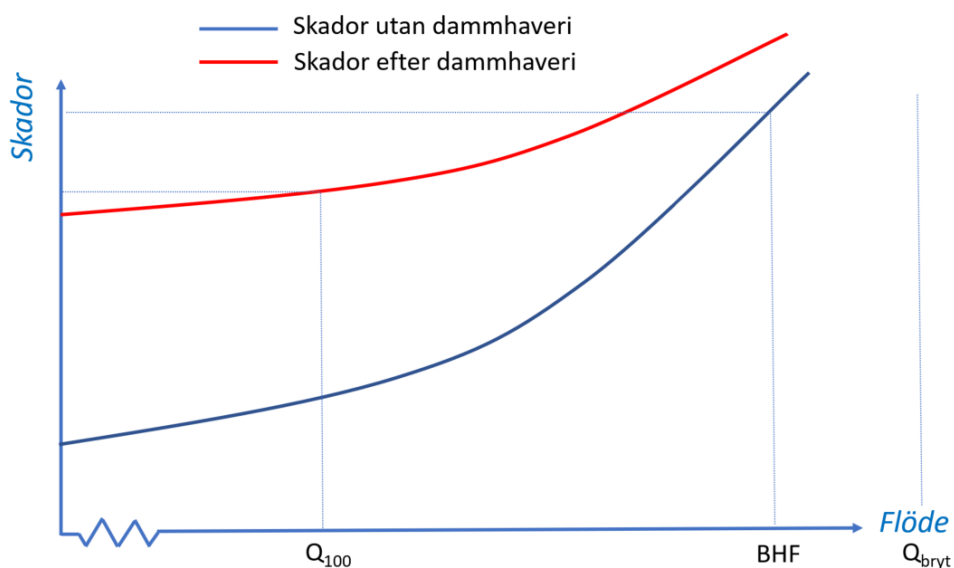
Nedan ges en kort beskrivning av dammsäkerhetsklasser med avseende på typiska egenskaper hos dammanläggningarna i de olika dammsäkerhetsklasserna relevanta för metodiken som beskrivs nedan. En detaljerad beskrivning av kriterier för var och en av klasserna ges i Svenska Kraftnäts PM nr. 2017/2480 (2017-08-23).

- En haveri på en dammanläggning i dammsäkerhetsklass A förväntas kunna leda till mycket omfattande och stora konsekvenser:
  - Flödet till följd av ett dammhaveri är (mycket) stort i förhållande till alla tillrinnande flöden – vid såväl normala som höga flöden.
  - Den utströmmande vattenvolymen till följd av ett dammhaveri är mycket stor, vid såväl normala som höga flöden.
  - Merskadorna innebär stor risk för förlust av många människoliv, stor påverkan på såväl nationell som regional infrastruktur samt stora ekonomiska förluster.
  - Skadorna utan och efter ett dammhaveri i en typisk dammanläggning i dammsäkerhetsklass A kan generellt illustreras grafiskt som i figur 3.2. Något brytpunktsflöde  $Q_{\text{bryt}}$  finns inte eftersom kurvorna inte möts innan BHF. Men en annan form på en sådan graf för en dammsäkerhetsklass A anläggning är också tänkbar.



Figur 3.2: Grafisk jämförelse mellan skador utan och efter dammhaveri, beroende på flöde (tillrinning). Detta är ett exempel där  $Q_{\text{bryt}}$  ligger högre än BHF, vilket kan användas generellt för anläggningar i DSK A.

- Dammar placerade i dammsäkerhetsklass B förväntas kunna leda till stora regionala konsekvenser eller störningar som dock inte är lika allvarliga som vid dammsäkerhetsklass A vilket ofta innebär:
  - Att det totala utflödet vid ett dammhaveri inte nödvändigtvis är mycket större än det tillrinnande flödet, men det ger allvarliga merskadorna.
  - Merskadorna kan innebära *icke försumbar* risk för förlust av människoliv.
- Dammar beslutade i dammsäkerhetsklass C förväntas kunna leda till tillfälliga störningar med lokala konsekvenser. Förenklat är motiven till dammsäkerhetsklass C följande:
  - Merskadorna är av mer än liten betydelse från samhällelig synpunkt.
  - Merskadorna innebär dock *försumbar* risk för förlust av människoliv.
- Haveri på dammar utan beslutad dammsäkerhetsklass förväntas kunna leda små lokala konsekvenser. Ett haveri på en damm utan beslutad dammsäkerhetsklass ger följande konsekvenser:
  - Merskadorna är *försumbara för samhället*.
  - Endast för dammsäkerhetsklass D: merskadorna kan vara *icke försumbara*, men då *endast för dammägaren* d.v.s. inte för samhället.



Figur 3.3: Grafisk jämförelse mellan skador utan och efter dammhaveri, beroende på flöde (tillrinning). Detta är ett exempel där  $Q_{bryt}$  ligger högre än BHF, vilket kan användas generellt för anläggningar i dammsäkerhetsklass A.



### 3.3 METODIK FÖR KOSTNAD-/NYTTOANALYS

I detta avsnitt ges en metodbeskrivning för kostnads-/nyttoanalys för bestämning av dimensionerande flöden. Metodiken beskrivs i text samt i två flödesscheman (bilaga 1 och 2) samt illustreras med 4 st tillämpningsexempel i avsnitt 3.4.

#### 3.3.1 Förslag till arbetsgång

Den arbetsgång som föreslås här beskrivs stegvis i flödesschema 1 (bilaga 1).

Innan stegen i flödesschema 1 utförs är det viktigt att ha en så bra kunskap som möjligt om bakgrund och förutsättningar för den aktuella dammanläggningen. Utgå från utförd konsekvensutredning samt från anläggningens unika utformning och förutsättningar. Beakta nedanstående.

*Konsekvensutredningens resultat och slutsatser*

- Vilken är anläggningens beslutade dammsäkerhetsklass?
- Vilka typer av skador är styrande för dammsäkerhetsklassen? Framförallt, finns risk för förlust av människoliv eller inte?
- Finns merskador vid höga flöden?
- Finns skador vid normala flöden?

*Anläggningens utformning och förutsättningar*

Framförallt följande faktorer kan vara avgörande avseende vilka åtgärder som är rimliga/möjliga att utföra på anläggningen och/eller vilka skyddsåtgärder som är möjliga att utföra:

- Vad klarar anläggningen att avbörda idag? Är det möjligt att utöka anläggningens avbördningskapacitet och/eller dess överdämningsförmåga, med "rimligt stora" åtgärder? Detta kan vara avgörande för vilka åtgärder som kan anses rimliga ur ett kostnads-/nyttoperspektiv.
- Har skadeobjekten en begränsad omfattning och/eller geografisk utbredning, eller är de utspridda över ett större område? Ligger de i nära anslutning till dammanläggningen? Detta kan vara avgörande om det är möjligt att varna/evakuera och/eller skydda skadeobjekten genom riskreducerande åtgärder.

Nedan följer en genomgång av stegen i flödesschema 1 (bilaga 1). Tanken är att flödesschema 1 ska kunna följas utan direkt stöd av denna rapport, då förklarande fotnoter har lagts till i marginalen i flödesschemat. Beskrivningen av flödesschemat som görs nedan, kompletterar fotnoterna.

Det är viktigt att notera att vissa av stegen i flödesschemat kan utföras i en annan ordning än som visas där, men tanken är att det ska vara möjligt att utföra stegen i den föreslagna ordningen för alla anläggningar. Vidare är det även viktigt att notera att detaljnivån (djupet) i analyserna som görs i flödesschemat, med fördel kan anpassas till den aktuella anläggningen, framförallt med hänsyn till dess dammsäkerhetsklass. Flödesschemats upplägg medger därmed möjligheter att förenkla flera steg, vilket även kan innebära att det går att hoppa över vissa steg. Även om den aktuella anläggningen är beslutad utan dammsäkerhetsklass (U), och

därmed inte omfattas av krav på dimensionerande flöde, tror vi att flödesschemat kan vara ett bra verktyg för dammägarens interna kostnads-/nyttoanalys avseende dimensionerande flöde.

Se flödesschema 1, (bilaga) .

**Steg 1-4:** Flödesschemat utgår från beslutad dammsäkerhetsklass. Här sorteras anläggningar i dammsäkerhetsklass A och U ut.

**Steg 1:** Anläggningar i dammsäkerhetsklass A ska alltid ha BHF som dimensionerande flöde.

**Steg 2:** En bedömning görs för anläggningar i dammsäkerhetsklass B, huruvida det är uppenbart att BHF ska väljas utifrån skadebilden. När risk för förlust av människoliv är en del av skadebilden i hela flödesregistret upp till BHF finns och om mängden skadeobjekt är stor, kan det vara uppenbart att så är fallet. För ett sådant fall är det svårt att reducera risken för förlust av människoliv genom andra åtgärder än att dimensionera anläggningen för BHF. Mer om påverkan av riskreducerande åtgärder i avsnitt 3.3.3.

**Steg 3:** Anläggningar som beslutas vara utan dammsäkerhetsklass (U) omfattas inte av krav avseende dimensionerande flöde. En kostnads-/nyttoanalys kan dock vara ett stöd om dammägaren önskar att välja ett dimensionerande flöde. Här kan eventuellt en förenklad kostnads-/nyttoanalys göras, utan att brytpunktsflödet  $Q_{\text{bryt}}$  nödvändigtvis behöver ringas in. Därmed kan steg 4-6 i flödesschemat hoppas över om så önskas.

**Steg 4:** När steg 4 är nått, konstateras att  $Q_{\text{dim}}$  kan väljas genom en avvägning mellan kostnad och nytta, och att detta endast gäller anläggningar i dammsäkerhetsklass B, C och U.

**Steg 5:** Här initieras kostnads-/nyttoanalysens första del, att ringa in flödesintervall för brytpunktsflödet  $Q_{\text{bryt}}$ . Detta görs genom arbetsgång enligt flödesschema 2 (bilaga 2) Arbetsgången finns beskriven i avsnitt 3.3.2. Detaljnivån i analysen av den aktuella anläggningen som görs i flödesschema 2 anpassas med fördel med hänsyn till beslutad dammsäkerhetsklass.

**Steg 6:** För de anläggningar där risk för förlust av människoliv föreligger vid dammhaveri (endast dammsäkerhetsklass B), krävs att en lokal beredskapsplan inklusive varnings- och utrymningsrutiner är en del av de riskreducerande åtgärderna, för att avsteg från  $Q_{\text{bryt}}$  ska kunna medges. Om t.ex. mängden skadeobjekt är stor och varningstiden är kort, är det svårt att reducera risken för förlust av människoliv genom varnings- och utrymningsrutiner. Slutsatsen kan då bli att BHF ändå ska väljas som dimensionerande flöde. Mer om påverkan av riskreducerande åtgärder i avsnitt 3.3.3.

**Steg 7:** Här initieras kostnads-/nyttoanalysens andra del, där en riskkostnad för dammhaveri värderas för olika tillrinnande flöden. Det är viktigt att notera att risk för förlust av människoliv är svår att värderas. Riskkostnader för andra skadekategorier värderas. Steg 7-9 beskrivs mer i avsnitt 3.3.4.

**Steg 8-9:** I steg 8 testas utifrån ett kostnad/nyttoperspektiv vilket av olika möjliga  $Q_{dim}$  som kan väljas. Åtgärdskostnader ställs mot de riskkostnader som värderades i steg 7. Beroende på var i flödesregistret som  $Q_{bryt}$  ligger, kan denna iteration göras med stigande eller sjunkande värden på flöden.

När  $Q_{bryt}$  ligger i intervallet  $Q_{100}$  till BHF är utgångspunkten att  $Q_{dim}$  väljs som ett flöde motsvarande storlek som  $Q_{bryt}$ . Om  $Q_{dim}$  ska väljas med avsteg från  $Q_{bryt}$  måste detta motiveras väl. Se mer om detta i avsnitt 3.3.3 om riskreducerande åtgärder.

Åtgärder kan vara aktuella är en kombination av en ombyggnad av anläggningen och andra riskreducerande åtgärder i utströmningsområdet. Det är viktigt att komma ihåg att trots att den första testade kombinationen av åtgärder visar sig vara rimlig, kan det ändå finnas andra kombinationer som är mer optimala ur ett kostnads-/nyttoperspektiv. Med riskreducerande åtgärd här avses en förebyggande teknisk åtgärd som kan vara t.ex. en invallning av ett skadeobjekt. Efter genomförande av den förebyggande åtgärden uppnås en dammsäkerhetsnivå likvärdig med om dammen dimensionerades för  $Q_{bryt}$ .

### 3.3.2 Bestämning av brytpunktsflödet, $Q_{bryt}$

Det är ur skadehänseende inte motiverat att dimensionera en dammanläggning för ett högre flöde än  $Q_{bryt}$ , varför det är viktigt att ha kännedom om storleken på detta flöde. Oavsett om dammsäkerhetsklassen är B eller C, eller eventuellt U, är det en bra utgångspunkt att ha en uppfattning om storleken på  $Q_{bryt}$ , för vidare avvägning mellan kostnad och nytta.

I vilket tillrinningsintervall finns (sannolikt) merskador, och vid vilket flöde upphör de, d.v.s. var finns  $Q_{bryt}$ ? Nedanstående intervall kan användas för att ringa in detta, baserat på vilka tillrinningar som oftast används i konsekvensutredningar.

- Alla tillrinningar (upp till klass I-flöde, BHF)
- $Q_{normal}$ - $Q_{100}$
- $Q_{100}$ - $Q_{klass1}$  (BHF)

En iterativ metodik kan användas till att identifiera det flöde vid vilken merskadan upphör, d.v.s. brytpunktsflödet  $Q_{bryt}$ . Denna metodik kan innebära att numeriska flodvågsberäkningar utförs, med olika storlek på det tillrinnande flödet – detta ligger närmast till hands om en beräkningsmodell redan finns sedan tidigare.

En iterativ metodik kan användas även om en beräkningsmodell inte finns, genom att göra kvantitativa och/eller kvalitativa inter- och extrapoleringar av bedömda merskador vid de tillrinningar som använts i konsekvensutredningen. Om den metodiken inte bedöms som tillräckligt noggrann, kan det uppstå behov av att upprätta en beräkningsmodell. Kravet på hur noggrant  $Q_{bryt}$  skall bestämmas, bör styras av den aktuella dammsäkerhetsklassen.

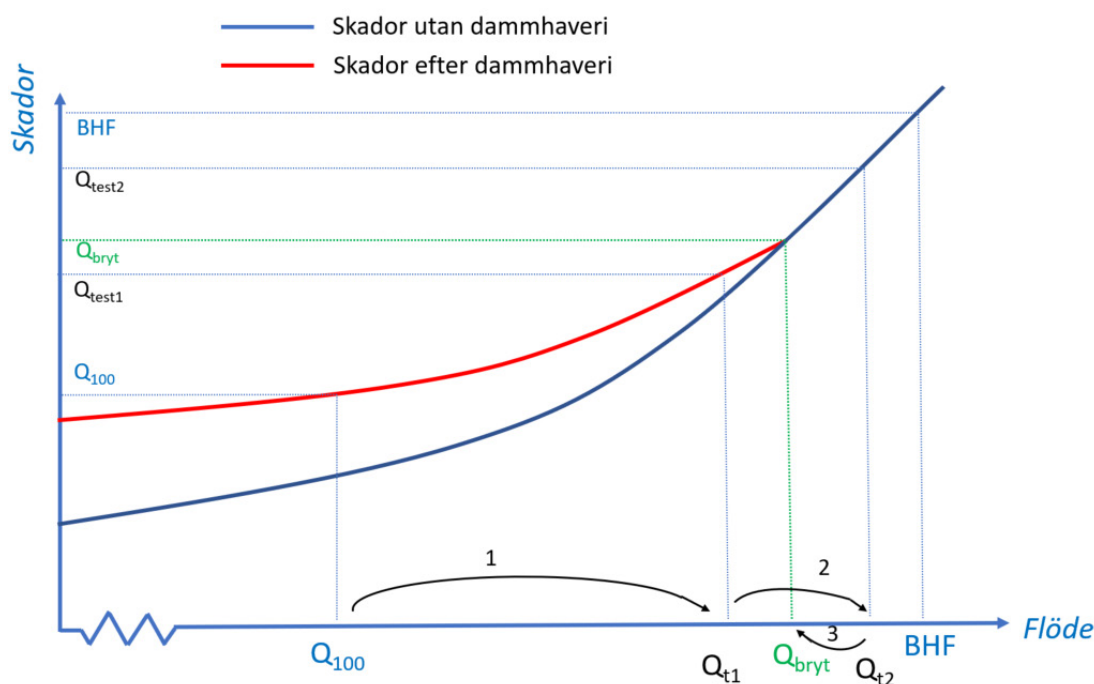
Den iterativa metodiken kan starta vid ett flöde där merskadan är känd sedan tidigare, t.ex.  $Q_{100}$ , genom att ett nytt flöde i intervallet  $Q_{100}$  till BHF testas. Här kan expertbedömningar och kvalificerade gissningar utifrån den kända skadebilden användas för att välja vilket flöde som testas. För varje stegvis högre flöde som

testas dokumenteras merskadorna i en kompletterande konsekvensutredning, tills ett flöde vid vilket ett haveri inte medför merskadorna kan identifieras, d.v.s.  $Q_{bryt}$ .

Om så önskas kan sedan ett något lägre flöde, i intervallet mellan de två senaste analyserade flödena testas för att i större detalj bestämma  $Q_{bryt}$ . Det hela upprepas till flödet " $Q_{bryt}$ " har identifierats med önskad upplösning. Det dimensionerande flödet,  $Q_{dim}$ , bestäms sedan med utgångspunkt från  $Q_{bryt}$ . För dammanläggningar som har en särskilt viktig roll i elsystemet kan det vara motiverat att välja ett  $Q_{dim}$  högre än  $Q_{bryt}$ .

En grafisk beskrivning av det iterativa förfarandet ges i figur 3.3, för ett exempel där  $Q_{bryt}$  hamnar i intervallet mellan  $Q_{100}$  och BHF. Bestämningen av  $Q_{bryt}$  i figur 3.3 görs på följande sätt: Ett första flöde  $Q_{t1}$  testas (t1 avser "test 1"), med utgångspunkt från  $Q_{100}$ . Flödet används i en dammhaveriberäkning och en skadeobjektskartering görs med avseende på merskadorna i utströmningsområdet.

Det konsekvensutredda flödet visar att skador fortfarande finns vid flödet  $Q_{t1}$ . Ett nytt flöde  $Q_{t2}$  testas. Nu visar konsekvensutredningen att för  $Q_{t2}$  har skadorna upphört. Dammägaren/utredaren har dock en känsla av att  $Q_{bryt}$  ligger betydligt lägre än det testade flöde, och vill testa ett nytt lägre flöde  $Q_{t3}$ . Även vid detta flöde visar det sig att skadorna upphört.  $Q_{t3}$  är  $Q_{bryt}$  och dimensionerande flöde ( $Q_{dim}$ ) väljs med utgångspunkt från  $Q_{bryt}$ .



Figur 3.4: Exempel på grafisk illustration av hur den iterativa metoden för bestämning av brytpunktsflödet  $Q_{bryt}$ . I detta exempel tas utgångspunkt i ansatsen att  $Q_{bryt}$  ligger mellan  $Q_{100}$  och BHF.

### 3.3.3 Påverkan av riskreducerande åtgärder

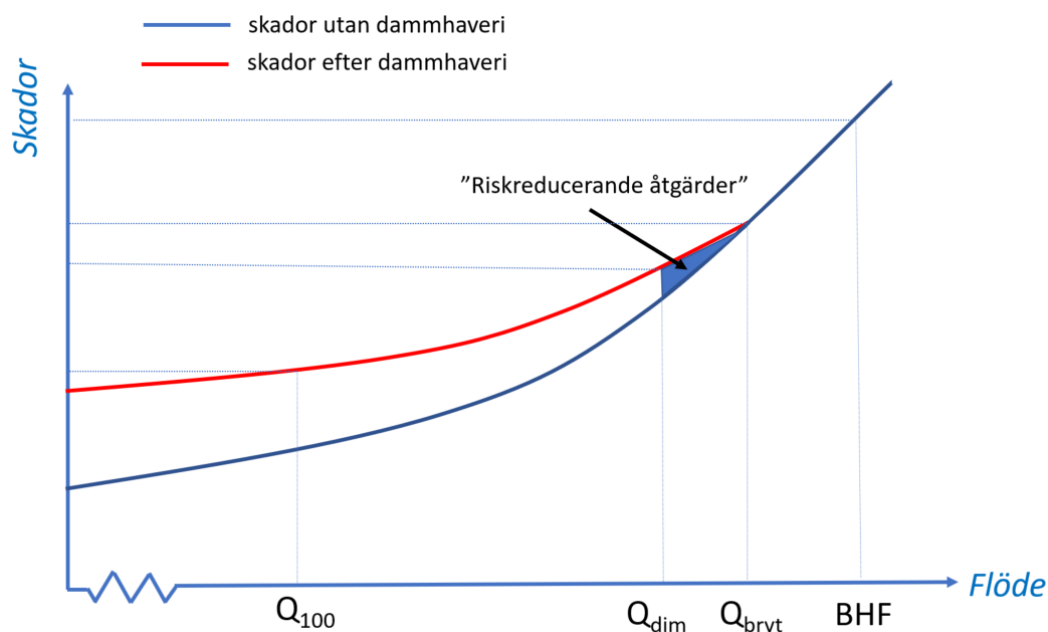
Med genomförandet av riskreducerande åtgärder är det möjligt att välja ett dimensionerande flöde ( $Q_{dim}$ ) med avsteg från  $Q_{bryt}$ . Riskreducerande åtgärder kan

innebära både tekniska åtgärder och beredskapsplanering, eller en kombination av dessa. Tekniska åtgärder kan delas upp i åtgärder på dammanläggningen (t.ex. utbyggnad av utskovskapacitet) och åtgärder i utströmningsområdet (t.ex. invallning av skadeobjekt).

För de anläggningar där risk för förlust av människoliv föreligger vid dammhaveri, krävs att en lokal beredskapsplan inklusive varnings- och utrymningsrutiner är en del av de riskreducerande åtgärderna, för att avsteg från  $Q_{bryt}$  ska kunna medges. Detta under förutsättning att det valda dimensionerande flödet tillsammans med beredskapsplanen inte ökar sannolikheten för att merskador med förlust av människoliv uppstår vid dammhaveri. Med andra ord: valt  $Q_{dim}$  får inte reducera den allmänna dammsäkerheten för anläggningen jämfört med om  $Q_{bryt}$  valts som  $Q_{dim}$ .

Genomförande av tekniska riskreducerande åtgärder kan också ge motiv till att  $Q_{dim}$  väljs lägre än  $Q_{bryt}$  på motsvarande sätt. För en anläggning där risk för förlust av människoliv *inte* föreligger vid ett haveri, kan avsteg från  $Q_{bryt}$  medges genom att enbart tekniska åtgärder genomförs.

Val av lägre  $Q_{dim}$  än  $Q_{bryt}$  kan illustreras grafiskt som i figur 3.4 nedan. I exemplet i figur 3.4 har  $Q_{bryt}$  identifierats enligt den iterativa metodiken i figur 3.3. Vid ett högflöde något lägre än  $Q_{bryt}$  finns enstaka skadeobjekt för vilka en lokal beredskapsplan med varnings- och utrymningsrutiner kan aktiveras vid ett lämpligt högflöde.  $Q_{dim}$  väljs med avsteg från  $Q_{bryt}$  med motiveringen att en lokal beredskapsplan aktiverats vid detta flöde, vilket säkerställer att inga människor vistas vid skadeobjektet vid detta eller vid högre flöden. Den röda linjen i figur 3.4 har då sänkts ned till den blå med hjälp av den riskreducerande åtgärden. I tillämpningsexempel 3 beskrivs ett liknande fall mer ingående.



Figur 3.5: Grafisk jämförelse mellan skador utan och efter dammhaveri, beroende på flöde (tillrinning). Detta är ett exempel där  $Q_{bryt}$  ligger mellan  $Q_{100}$  och BHF och där  $Q_{dim}$  väljs med avsteg från  $Q_{bryt}$  genom att riskreducerande åtgärder genomförs.

### 3.3.4 Val av $Q_{dim}$ utifrån kostnad och nytta

När  $Q_{bryt}$  har bestämts med önskad noggrannhet behöver en avvägning göras mellan förväntade kostnader för möjliga skador (riskkostnader) vid ett dammhaveri och åtgärds-kostnader för att minimera risken att skador uppstår. Om  $Q_{bryt}$  ligger i intervallet  $Q_{100}$  till BHF, och kostnads-/nyttoanalysen visar att det är möjligt att dimensionera anläggningen så att  $Q_{dim}$  är lika med  $Q_{bryt}$  till en rimlig kostnad i förhållande till nyttan, ska anläggningen dimensioneras för  $Q_{bryt}$ .

Kostnads-/nyttoanalysen utgår ifrån anläggningens och utströmningsområdets förutsättningar. Följande villkor måste vara uppfyllda för att åtgärder ska vara möjliga att genomföra:

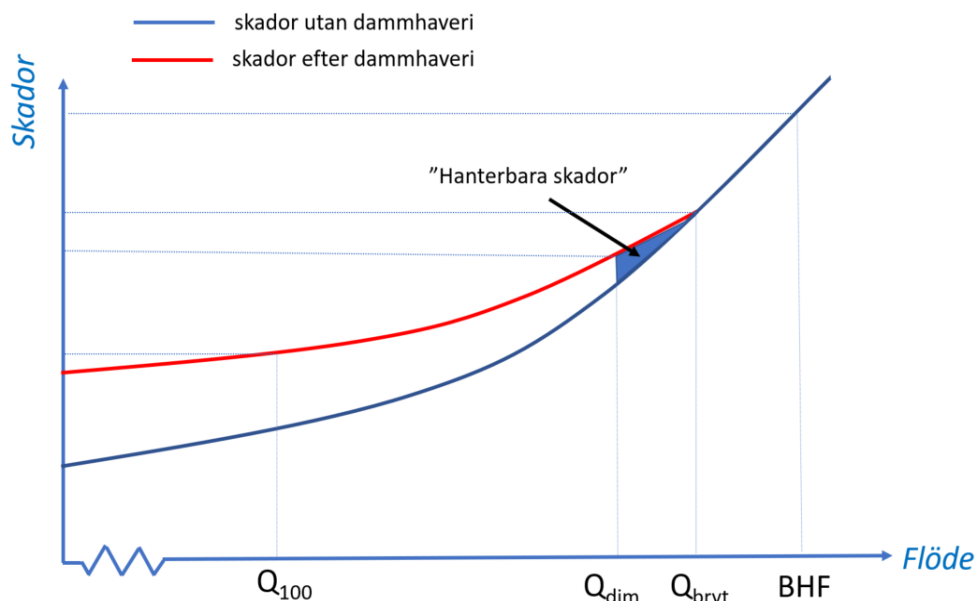
- Åtgärderna bidrar till att reducera risken för dammhaveri ner till en tillräckligt låg nivå, med avseende på anläggningens dammsäkerhetsklass.
- Åtgärderna innebär att en dammsäkerhetsnivå uppnås, som är likvärdig med om dammen dimensioneras för  $Q_{bryt}$ .
- Åtgärderna ska vara möjliga att genomföra till en rimlig kostnad.

Åtgärds-kostnader och deras respektive riskkostnader behöver värderas och vägas mot varandra. Detta är en iterativ process där utfallet av ett antal olika tänkbara dimensionerande flöden testas. Antingen kan enskilda åtgärder eller en kombination av åtgärder vara det mest optimala för den aktuella dammanläggningen, ur kostnads-/nyttoperspektiv. Det kan exempelvis innebära att en åtgärd på dammanläggningen (t.ex. ökning av utskovskapaciteten) kombineras med en skyddsåtgärd i utströmningsområdet (t.ex. invallning av skyddsobjekt).

Om den första testade kombinationen av åtgärder visar sig vara rimlig, kan det ändå finnas andra kombinationer som är mer optimala ur ett kostnads-/nyttoperspektiv.

I figur 3.5 illustreras grafiskt hur ett lägre  $Q_{dim}$  än  $Q_{bryt}$  väljs utifrån kostnads-/nyttoanalys, och hur de hanterbara skadorna kan illustreras. Den föreslagna metodiken för kostnads-/nyttoanalys illustreras genom ett antal exempel i avsnitt 3.4.





Figur 3.6: Grafisk jämförelse mellan skador utan och efter dammhaveri, beroende på flöde (tillrinning). Detta är ett exempel där  $Q_{bryt}$  ligger mellan  $Q_{100}$  och BHF och där  $Q_{dim}$  väljs lägre än  $Q_{bryt}$  eftersom de hanterbara skadorna endast utgör ekonomisk skada (risk) endast för dammägaren.

### 3.3.5 Sammanfattande utfall av metodiken

Metodiken som presenterats ovan får följande konsekvenser med avseende på val av dimensionerande flöde för anläggningar med olika dammsäkerhetsklasser:

- Anläggningar i dammsäkerhetsklass A, B och C ska klara att vid dämningssgränsen avbörda ett tillrinnande flöde med en återkomsttid om minst 100-år om denna kombination av flöde och vattenstånd i magasinet inte kan anses vara utesluten.
- Anläggningar i dammsäkerhetsklass A bör *alltid* ha BHF som dimensionerande flöde.
- Anläggningar i dammsäkerhetsklass B, där ett haveri vid höga flöden ger stora konsekvenser bör *alltid* ha BHF som dimensionerande flöde.
- För anläggningar i dammsäkerhetsklass B, där ett haveri vid höga flöden ger mindre konsekvenser eller dammanläggningar där skadebilden består av enstaka bostadshus och där förutsättningar för evakuering finns kan avsteg från BHF tillåtas. En förutsättning är att det går att visa att en tillfredsställande nivå på dammsäkerhet uppfylls med ett  $Q_{dim}$  som motsvarar ett lägre flöde än BHF. En tillfredsställande nivå kan nås genom olika riskreducerande åtgärder såsom beredskapsplanering inklusive varnings och evakueringsrutiner.
- För anläggningar i dammsäkerhetsklass B eller C, där förlust av människoliv *inte* är en del av skadebilden vid dammhaveri under höga flöden, väljer/föreslår dammägaren ett  $Q_{dim}$  och visar att valt  $Q_{dim}$  medför en tillfredsställande nivå av dammsäkerhet. Detta görs genom en kostnads-/nyttoanalys.
- Anläggningar beslutade som U (D och E enligt RIDAS 2019) *inte* skall ha några krav på dimensionerande flöde. Dock kan en kostnads-/nyttoanalys vara ett bra verktyg för att bestämma storleken på det dimensionerande flödet.

### 3.4 ILLUSTRATIVA TILLÄMPNINGSEXEMPEL

Här ges fyra tillämpningsexempel på hur en kostnads-/nyttoanalys kan utföras för att bestämma dimensionerande flöde. Dessa exempel är tänkta att öka förståelsen för hur föreslagen metodik bör användas. Alla exemplen är i någon mån baserade på verkliga fall, men de har anonymiserats och i några fall förenklats, för att tydliggöra det viktigaste.

#### 3.4.1 Principiell arbetsgång

Nedan görs en kort beskrivning av den principiella arbetsgången, med hänvisningar till flödesschema 1 (bilaga 1). Arbetsgången följer den som beskrivs i avsnitt 3.3.1, som kortfattat innebär:

- Utgå från anläggningens och nedströmsområdets specifika förutsättningar samt från konsekvensutredningens resultat.
  - × Vilka åtgärder är tekniskt möjliga att utföra?
  - × Är riskerna kopplade till höga flöden eller inte?
  - × Hur stora kostnader kan anläggningen bära, kopplat till intjäning från kraftstationen, om det finns en sådan?
- Är det uppenbart att BHF bör väljas som dimensionerande flöde, utan vidare kostnads-/nyttoanalys? Här avses anläggningar där haveri riskerar att leda till så omfattande och allvarliga skador, inklusive förlust av människoliv, att det inte är möjligt att utföra tillräckliga riskreducerande åtgärder. Detta innebär alla anläggningar placerade i dammsäkerhetsklass A, och en del i dammsäkerhetsklass B, vilka med nuvarande klassificering utan tvekan ska vara placerade i flödesdimensioneringsklass I. Detta motsvarar ruta 1-2 i flödesschema 1 (bilaga 1).
- Om den aktuella anläggningen inte är ett uppenbart fall enligt föregående punkt, kan med fördel alla stegen i kostnads-/nyttoanalysen användas för att bestämma ett lämpligt  $Q_{dim}$ . Detta motsvarar ruta 3 i flödesschema 1. Dammsäkerhetsklassen kan styra behovet av detaljeringsgrad i analysen, där en högre dammsäkerhetsklass kräver en högre detaljeringsgrad.
  - × Om anläggningen är beslutad utan dammsäkerhetsklass (U), kan den första delen av kostnads-/nyttoanalysen hoppas över (ruta 5-6 i FS 1). Detta motsvarar ruta 4 i flödesschema 1.
  - × Om anläggningen inte är beslutad som U, eller valfritt för U: ringa in flödesintervall för brytpunktflödet  $Q_{bryt}$ . Detta kan användas som utgångspunkt för att välja dimensionerande flöde. Detta motsvarar ruta 5-6 i flödesschema 1.
  - × Värdera/uppskatta kostnader för risker kopplade till höga flöden (riskkostnader) och väg dem mot kostnader för riskreducerande åtgärder. Detta är den andra delen av kostnads-/nyttoanalysen och motsvarar ruta 7-9 i flödesschema 1. Hit hoppar man för U-anläggningar, om man hoppat över den inledande delen av analysen. Här används kunskap om anläggningens och nedströmsområdets förutsättningar.

### 3.4.2 Exempel

De fyra typexempel som har valts ut att belysas är följande:

1. Anläggning i dammsäkerhetsklass C, med snabbt magasin och inget överströmningsskydd.
2. Anläggning i dammsäkerhetsklass C, med ett enda skadeobjekt med mycket stora ekonomiska merskador.
3. Anläggning i dammsäkerhetsklass B, där tekniska åtgärder i kombination med beredskapsplan använts för att välja ett dimensionerande flöde.
4. Anläggning i dammsäkerhetsklass B, med litet magasin och enstaka skadeobjekt direkt nedströms dammen.

I exemplen hänvisas till stegen i flödesschema 1 (bilaga 1).

#### Exempel 1: C-anläggning med snabbt magasin och inget överströmningsskydd

##### *Anläggningens och nedströmsområdets specifika förutsättningar*

Avbördningskapaciteten hos den aktuella anläggningen är ca ett 100-årsflöde vid dämningensgränsen (DG). Anläggningen har ett litet magasin, vilket innebär att stighastigheten är hög. Anläggningen har ingen installerad fjärrmanövrering av utskovsluckorna, och varken överströmningsskydd eller VNR för utskoven. Dammanläggningen närmast uppströms har överströmningsskydd och dämmer ett stort magasin samt ligger relativt nära den aktuella anläggningen, d.v.s. gångtiden för vattnet mellan anläggningarna är kort.

##### *Utförd konsekvensutredning (steg 1-4)*

Den tänkta dammanläggningen är beslutad att tillhöra dammsäkerhetsklass C, utifrån att stora ekonomiska merskador förväntas uppstå främst på infrastruktur vid ett dammhaveri. Bedömningen är att det är försumbar risk för förlust människoliv vid ett dammhaveri.

*Kommentar: i och med detta har frågan i steg 6 besvarats. Steg 5 ska dock fortfarande utföras.*

##### *Kostnads-/nyttoanalys steg 1 – ringa in flödesintervall för $Q_{bryt}$ (steg 5)*

Konsekvensutredningens resultat pekar mot att merskadorna upphör vid en tillrinning kring 100-årsflödet, d.v.s.  $Q_{bryt}$  är ca  $Q_{100}$ . Någon detaljerad utredning av  $Q_{bryt}$  har inte gjorts, utan fokus har lagts på vilket dimensionerande flöde som det är möjligt/rimligt att åtgärda anläggningen för.

##### *Kostnads-/nyttoanalys steg 2 – värdering av riskkostnader mot åtgärders kostnader och nytta (steg 7-9)*

Sedan har dammägaren gjort en värdering av riskkostnader i samband med dammhaveri, för några olika lastfall och inflöden enligt punktlistan nedan. Sannolikheten för de olika fallen har också uppskattats. Riskkostnaden kan enkelt uttryckas som *kostnad för att återställa skador\*sannolikhet*.

Dammägaren har även uppskattat hur stor investering, i form av åtgärder för att åtgärda anläggningen för ett visst dimensionerande flöde, som är möjlig/rimlig i förhållande till hur mycket en åtgärd förväntas sänka den årliga riskkostnaden. Detta beror på antagen investeringsränta samt på intäkterna från kraftstationen. För detta exempel har denna uppskattning antagits vara ett förhållande 10:1 d.v.s. att anläggningen "tål" en investering på 10 MSEK för att sänka den årliga riskkostnaden med 1 MSEK.

- Höga flöden (t.ex. 100-årsflöde) och dammhaveri. Sannolikhet: 1 gång/100 år. Total riskkostnad för uppkomna skador uppskattas till 50 Mkr, vilket kan räknas om till en årlig riskkostnad på 500 000 kr ( $50 \text{ Mkr} * 1/100$ ).
- Normalflöde. Lastfrånslag i kraftstationen samt utebliven lucköppning (i tid), med snabbt stigande magasin och till sist dammbrott som följd. Sannolikhet: 1 gång/50 år. Total riskkostnad för uppkomna skador uppskattas till 30 Mkr, vilket kan räknas om till en årlig riskkostnad på 600 000 kr ( $20 \text{ Mkr} * 1/50$ ).
- Normalflöde. Lastfrånslag i kraftstationen, oavsiktlig lucköppning (överströmningsskydd) vid anläggningen närmast uppströms samt utebliven lucköppning (i tid) vid den aktuella anläggningen. Detta medför snabbt stigande magasin och till sist dammbrott som följd. Sannolikhet: 1 gång/50 år. Total riskkostnad för uppkomna skador uppskattas till 30 Mkr, vilket kan räknas om till en årlig riskkostnad på 600 000 kr ( $20 \text{ Mkr} * 1/50$ ).

Den sammanlagda årliga riskkostnaden är då 1,7 Mkr ( $500 + 600 + 600 \text{ kkr}$ ). Med förhållandet 10:1 innebär det att anläggningen "tål" en investeringskostnad på 17 Mkr, om den kan sänka den årliga riskkostnaden med minst 1 Mkr åtminstone ner till 700 000 kr.

Här blir det uppenbart att den sammanlagda riskkostnaden kopplad till avsaknad av överströmningsskydd är större än riskkostnaden kopplad till för låg avbördningskapacitet ( $400+400$  vs  $500 \text{ kkr}$ ). Med andra ord finns ingen tydlig korrelation mellan ökad risk för dammhaveri och ökande tillrinning. Detta används som utgångspunkt för vidare analys.

*Kommentar: nu är vi nere på de två sista stegen flödesschema 1 (bilaga 1, steg 8-9), d.v.s. vi testar åtgärder som ger olika dimensionerande flöden i vår kostnads-/nyttoanalys.*

Utredda åtgärder:

- A. Ökning av avbördningskapaciteten från ett 100-årsflöde till ett 500-årsflöde, genom ett nytt utskov. Kostnad för denna åtgärd uppskattas till 10 Mkr. Efter utförd åtgärd har sannolikheten för dammhaveri p.g.a. för låg avbördningskapacitet sjunkit från 1/100 till 1/500 (förenklat).
- B. Installation av överströmningsskydd genom att installera ny pegel inklusive kringutrustning, förnyelse av kontrollutrustningen och ombyggnad för fjärreglering av utskovsluckor. Kostnad för denna åtgärd uppskattas till 5 Mkr. Efter utförd åtgärd har sannolikheten för dammhaveri p.g.a. utebliven lucköppning vid normalflöde sjunkit från 1/50 till 0 (förenklat). Detta oavsett om orsaken är lastfrånslag eller oavsiktlig lucköppning uppströms.

Det utreds olika kombinationer av dessa två åtgärder och de som jämförs är antingen endast åtgärd B eller A+B.

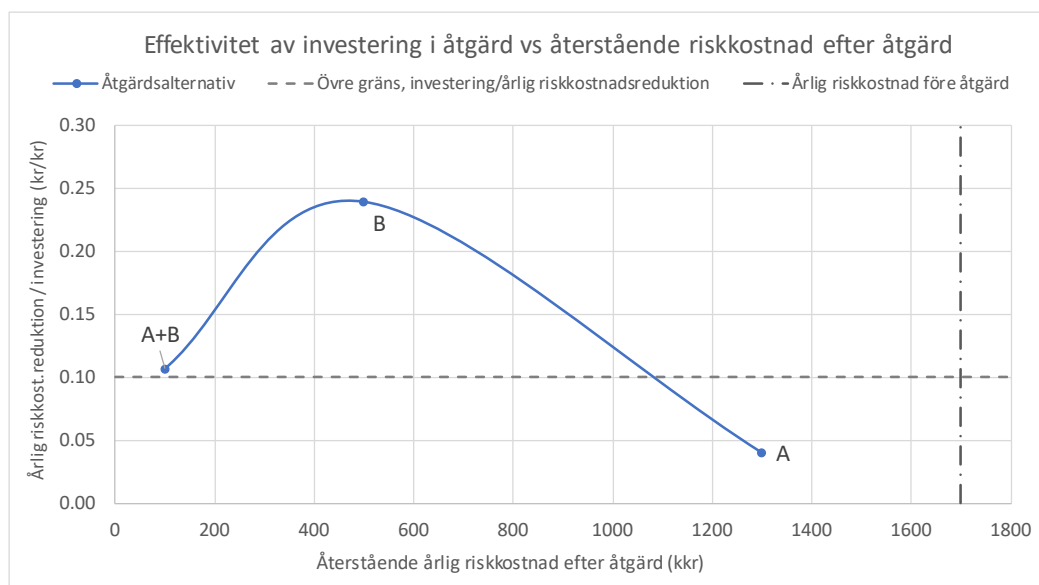
Åtgärd A kostar 10 Mkr och den årliga riskkostnaden minskar med 400 kkr, ner till 1,3 Mkr. Detta eftersom den årliga riskkostnaden för dammhaveri kopplad till för låg avbördningskapacitet, sjunker med 400 kkr från 500 kkr till 100 kkr. Åtgärden ryms inom det bedömda investeringsutrymmet på 17 Mkr *men* den årliga riskkostnaden sänks inte tillräckligt mycket, varför endast denna åtgärd inte är möjlig/rimlig ur ett kostnads-/nyttoperspektiv.

Åtgärd B kostar 5 Mkr och den årliga riskkostnaden minskar med 1200 kkr (600 + 600) ner till 500 kkr, eftersom alla risker för dammhaveri kopplat till avsaknad av fjärmanövrerade luckor och överströmningsskydd antas bli eliminerade. Dessa risker är ju både vid stationsfrånslag och vid oavsiktlig lucköppning uppströms. Således ryms åtgärden inom det bedömda investeringsutrymmet och den sänker riskkostnaden med minst så mycket som krävs för investering.

Åtgärdspaket A+B kostar sammanlagt 15 Mkr (10+5) och den årliga riskkostnaden minskar med 1600 kkr (600 + 600 + 400) ner till 100 kkr. Detta eftersom den årliga riskkostnaden för dammhaveri kopplad till för låg avbördningskapacitet, sjunker från med 400 kkr från 500 kkr till 100 kkr samt att alla risker för dammhaveri kopplat till avsaknad av fjärmanövrerade luckor och överströmningsskydd antas bli eliminerade. Även detta åtgärdspaket ryms således inom det bedömda investeringsutrymmet och den sänker riskkostnaden med minst så mycket som krävs för investering.

Både åtgärd B och åtgärdspaket A+B ryms inom investeringsutrymmet och båda sänker den årliga riskkostnaden för dammhaveri tillräckligt mycket. Åtgärdspaket A+B sänker den årliga riskkostnaden ned till ca 6 % av den ursprungliga (från 1,7 Mkr till 100 kkr), medan endast åtgärd B sänker den ned till ca 30 % av den ursprungliga (från 1,7 Mkr till 500 kkr).

Se diagrammet i figur 3.6.



Figur 3.7: Illustration av hur stor reduktion av årlig riskkostnad som olika åtgärder ger, jämfört mot hur stor den återstående årliga riskkostnaden är.

I figuren visas det att åtgärd A hamnar under den acceptabla gränsen för årlig riskkostnadsreduktion per investerad krona. Åtgärd B ger störst årlig riskkostnadsreduktion per investerad krona, men åtgärdspaket A+B ger en reduktion av den årliga riskkostnaden ner till en nivå som är tillfredsställande låg och till en rimlig kostnad. Därför väljs åtgärdspaket A+B.

*Kommentar: det skulle ha varit möjligt att optimera kostnads-/nyttoanalysen ytterligare för detta exempel, men i detta fall är dammägaren nöjd med utfallet i detta läge. En kostnads-/nyttoanalys behöver inte göras speciellt mycket mer komplicerat än så här, för en "enkla anläggning" i dammsäkerhetsklass C eller D. För dammsäkerhetsklass E kan analysen möjligen göras ännu mer förenklat.*

### Exempel 2: C-anläggning med ett enda skadeobjekt med mycket stora ekonomiska merskador

#### *Anläggningens och nedströmsområdets specifika förutsättningar*

Dammanläggningen består av en regleringsdamm med ett antal utskov – utskovspartiet fyller i princip ut hela vattendragets bredd, och en kanaldamm längs intagskanalen till kraftverket. Merskador till följd av ett haveri i kanaldammen bedöms ge endast försumbara skador, oavsett grundflöde.

Regleringsdammen bedöms klara en överdämning upp till dammkrön (DK) utan att haverera, då den är en betongdamm, men bedöms inte klara en överströmning. Anläggningen klarar av att avbörda ca ett 100-årsflöde vid dämningensgränsen (DG) och även ett högre flöde vid överdämning till DK, i storleksordningen av ett 500-årsflöde. En stor industri är det enda skadeobjektet och ligger i nära anslutning till spillfåran. Industrin skyddas från spillfårans vatten med vallar och ledmurar, vilka tillhör anläggningen d.v.s. ägs av dammägaren.



*Utförd konsekvensutredning (steg 1-4)*

Dammanläggningen är beslutad att tillhöra dammsäkerhetsklass C, utifrån att mycket stora ekonomiska merskador förväntas uppstå främst på industrin vid ett dammhaveri i regleringsdammen. Merskadorna uppstår vid höga flöden, då vallar och ledmurar överströmmas och vatten strömmar in på industriområdet.

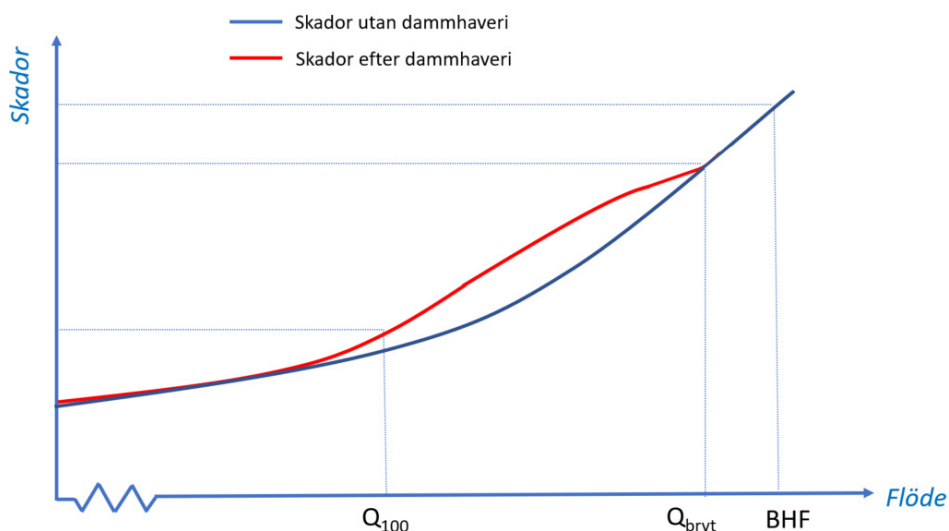
*Kommentar: i detta läge har steg 1-4 i flödesschema 1 (bilaga 1) utförts, d.v.s. nästa steg är att ringa in kring vilket grundflöde som merskadorna upphör, d.v.s. det som tidigare i denna rapport definierat som "brytpunktsflödet"  $Q_{bryt}$ .*

Industrin hotas inte av ett dammhaveri under normalflöde och vid mycket höga flöden råder förhöjd vaksamhet, så att människor inom industriområdet hinner sätta sig i säkerhet då flödet gradvis ökar i långsam takt. Utifrån detta är bedömningen att det är försumbar risk för förlust människoliv vid ett dammhaveri, oavsett flöde. Därmed är industrin det enda skadeobjektet.

I konsekvensutredningen har hydrauliska beräkningar utförts för ett antal grundflöden, med och utan dammhaveri, så att man har kunnat ringa in ett grundflödesintervall där icke försumbara merskadorna finns. Detta på grund av att det extra inflödet in på industriområdet via den överströmmade ledmuren, till följd av dammhaveriet, då bedöms vara så stort att det inte går att utesluta att industrin hotas. Merskadorna uppstår alltså kring ett flöde lägre än 100-årsflödet troligen kring 50-årsflödet, för att sedan upphöra igen kring ett högre flöde, och vid BHF då vara helt försumbara. De skyddande vallarna/murarna kan alltså antas vara dimensionerade för ett grundflöde på ca 50-årsflödet. För högre grundflöden överströmmas de av vatten in på industriområdet.

*Kostnads-/nyttoanalys del 1 – ringa in flödesintervall för  $Q_{bryt}$  (steg 5)*

Ett flödestillskott från ett dammhaveri kan, även om det är litet, mycket väl ge stora merskador på industrin. Flödesökningen till följd av dammhaveriet är i detta fall litet, eftersom de havererade delarna av regleringsdammen utgör endast en liten del av dammen – resten är utskov som är fullt öppna i ett sådant skede. Det övre värdet i det intervallet är det grundflöde där merskadorna upphör d.v.s.  $Q_{bryt}$ , som bedöms ha en återkomsttid på ca 1000 år. Vid dammhaveri under ett större grundflöde är alltså skadorna på industrin redan att betrakta som en totalskada d.v.s. merskadan är då försumbar. Detta kan illustreras med ett diagram av typen som tidigare presenterats i denna rapport, se figur 3.7.



**Figur 3.8:** Illustration av skador utan och efter ett dammhaveri i den anläggning som detta exempel handlar om, kopplat till grundflödet i vattendraget. Stora merskador uppstår för grundflöden fr.o.m. lite lägre än  $Q_{100}$  och upphör vid ett högre flöde,  $Q_{bryt}$ . Dammhaveri vid  $Q_{100}$  bedöms alltså kunna medföra stora merskador.

*Kommentar: i detta läge har fram t.o.m. steg 6 i flödesschema 1 (bilaga 1) utförts. Frågan i steg 6 har redan besvarats tidigare. Nästa steg är att utifrån en värdering av skadorna, analysera om det går att dimensionera anläggningen för  $Q_{bryt}$  till en rimlig kostnad och acceptabel riskreducering, eller om ett lägre dimensionerande flöde kan motiveras (m.a.o. steg 7-9 i flödesschema 1 (bilaga 1)).*

#### *Kostnads-/nyttoanalys del 2 – värdering av riskkostnader mot åtgärders kostnader och nytta (steg 7-9)*

En värdering visar att riskkostnaderna för de skador som uppstår på industrin vid mycket höga flöden, med eller utan dammhaveri, är ca 500 Mkr.

Utredningar visar att det inte är möjligt att förhindra skador på industrin genom att bara utföra åtgärder som ökar avbördningskapaciteten, eftersom spillfåran inte kan hantera så höga flöden utan att översvämning sker in på industriområdet. De totalskador som kan uppstå är därmed inte starkt kopplade till risken att avbördningskapaciteten är för låg. Däremot reduceras sannolikheten för att stora totalskador uppstår om avbördningskapaciteten ökas, eftersom dammhaveri under höga flöden då sker med lägre sannolikhet än tidigare.

Åtgärden att öka avbördningskapaciteten är därför inte verkningslös, men det blir tydligt att det i första hand krävs andra åtgärder som skyddar det primära skadeobjektet (industrin). Anläggningen har dock redan en relativt hög avbördningskapacitet, som bidrar till att sannolikheten för dammhaveri vid höga flöden kan hållas på en låg nivå. Utifrån konsekvensutredningen finns därför inte skäl att dimensionera anläggningen för  $Q_{bryt}$ , och det bedöms inte heller vara tekniskt möjligt.

Skyddsåtgärder, som höjning av ledmurar och/eller fördjupning av spillfåran, är nödvändiga och effektiva åtgärder för att skador på industrin ska vara möjliga att undvika vid mycket höga flöden. Skyddsåtgärder bidrar på så sätt till att sannolikheten för att stora skador uppstår under mycket höga flöden, kan hållas på

en låg nivå. Kostnaderna för sådana skyddsåtgärder är betydligt lägre än riskkostnaderna för skador på industrin under höga flöden, varför skyddsåtgärderna är motiverade och rimliga. Skyddsåtgärderna bör dimensioneras för ett högre flöde än vad dammanläggningen dimensioneras för, så att det extra flöde som uppstår vid ett haveri kan klaras utan att vatten strömmar in på industriområdet.

*Kommentar: i detta läge är vi på steg 9 i flödesschema 1 (bilaga 1) d.v.s. olika åtgärder testas ur ett kostnads-/nyttoperspektiv, var för sig och/eller i kombination. Detta görs liknande som i exempel 1.*

Utredda åtgärder:

- A. Ökning av avbördningskapaciteten, genom sänkning av trösklarna hos några av utskoven och byte av dessa luckor, så att dammen dimensioneras för att kunna förbipassera  $Q_{\text{bryt}}$  utan allvarlig skada (haveri).  $Q_{\text{bryt}}$  har uppskattats till ca ett 1000-årsflöde. Kostnad för denna åtgärd uppskattas till 10 Mkr.

Efter utförd åtgärd har sannolikheten för dammhaveri flöden sjunkit från 1/500 till 1/1000 (förenklat). Sannolikheten för merskador till följd av ett dammhaveri flöden har därmed också sjunkit från 1/500 till 1/1000 (återigen förenklat). Sannolikheten för att industriområdet översvämmas och en totalskada uppstår är oförändrad på 1/50, eftersom inga åtgärder utförs för att skydda industriområdet och vallar/murar överströmmas vid ca  $Q_{50}$ .

- B. Höjning och förstärkning av vallar och murar mellan spillfåran och industriområdet, så att industriområdet skyddas från översvämning upp till ett flöde i spillfåran på uppskattningsvis ett 500-årsflöde. Merskador till följd av ett haveri bedöms därmed uppstå vid ett 500-årsflöde, d.v.s. detta är oförändrat. Kostnad för denna åtgärd uppskattas till 3 Mkr. Efter utförd åtgärd är sannolikheten för dammhaveri p.g.a. för låg avbördningskapacitet oförändrad på 1/500, eftersom inga åtgärder utförs på dammanläggningen.

Sannolikheten för merskador till följd av ett dammhaveri vid mycket höga flöden är därmed också oförändrad på 1/500 (förenklat). Sannolikheten för att industriområdet översvämmas (oavsett dammhaveri eller inte) och en totalskada uppstår har sjunkit från 1/50 till 1/500, eftersom vallar/murar överströmmas vid ca  $Q_{500}$  efter åtgärd.

**Åtgärd A** halverar den årliga riskkostnaden för merskador till följd av dammhaveri, från 1 Mkr till 500 000 kr, eftersom sannolikheten för dammhaveri bedöms bli halverad i och med att dammanläggningen dimensioneras för ett flöde med dubbla återkomsttiden. Den årliga riskkostnaden för totalskadan, d.v.s. för att industriområdet översvämmas, är 10 Mkr (500 Mkr/50 år), eftersom vallar/murar bedöms bli översvämmade vid ca  $Q_{100}$  eller högre. Denna riskkostnad är oförändrad efter åtgärd, eftersom inga åtgärder utförs för att skydda industriområdet. Denna åtgärd ger alltså ingen reduktion av den årliga riskkostnaden för totalskadan, trots en åtgärds-kostnad på 10 Mkr.

**Åtgärd B** ger en oförändrad årlig riskkostnad på 1 Mkr för *merskador till följd av dammhaveri*, eftersom inga åtgärder utförs på dammanläggningen. Den årliga riskkostnaden för *totalskadan*, d.v.s. för att industriområdet översvämmas, reduceras däremot avsevärt från 10 Mkr till 1 Mkr, eftersom sannolikheten för att industriområdet ska översvämmas sjunker med en faktor 10 då vallar/murar dimensioneras för ett flöde som bedöms uppstå med en återkomsttid av ca 500 år istället för ca 50 år. Denna åtgärd ger alltså en reduktion av den årliga riskkostnaden för totalskadan på 9 Mkr för en åtgärds kostnad på 3 Mkr.

Sammantaget blir slutsatsen att skyddsåtgärder enligt åtgärd B är överlägset mest effektiva åtgärden för att minska sannolikheten för en totalskada på industrin. Åtgärd B innebär en väsentligt lägre investeringskostnad än åtgärd A, samt att den årliga riskkostnaden för totalskadan reduceras avsevärt. Utifrån detta resonemang väljs det dimensionerande flödet till 500-årsflödet. Detta är ett avsteg från  $Q_{bryt}$  och motiveras med dessa åtgärder som skyddar skadeobjektet.

*Kommentar: en kombination av åtgärd A och B kan också tänkas, men tas inte upp här. I steg 8-9 i flödesschema 1 (bilaga 1) kan olika kombinationer av dimensionerande flöde och skyddsåtgärder (riskreducerande åtgärder) testas ur ett kostnads-/nyttoperspektiv. Bara för att den första kombinationen av åtgärder visar sig vara rimlig, kan det ändå finnas andra kombinationer som också är rimliga men är mer optimala ur ett kostnads-/nyttoperspektiv.*

### Exempel 3: B-anläggning där tekniska åtgärder i kombination med beredskapsplan använts för att välja ett dimensionerande flöde

#### *Anläggningens och nedströmsområdets specifika förutsättningar*

Vid utbyggnaden spärrades den naturliga älvfåran av med en fyllnadsdamm och en lång intagskanal leder nu vattnet till kraftverket. En sträcka nedströms fyllnadsdammen (som ger den största konsekvensen av dammarna vid anläggningen) ligger bebyggelsen längs den tidigare huvudfåran i form av ett område med bostads- och fritidshus. Direkt nedströms denna bebyggelse finns en grunddamm som bestämmer vattenståndet i området som berör bebyggelsen. Ett haveri på fyllnadsdammen leder till att grunddammen styr nivån vid bebyggelsen som utgör de enda skadeobjekten.

Anläggningen klarar inte att avbörda BHF utan att dammen överströmmas.

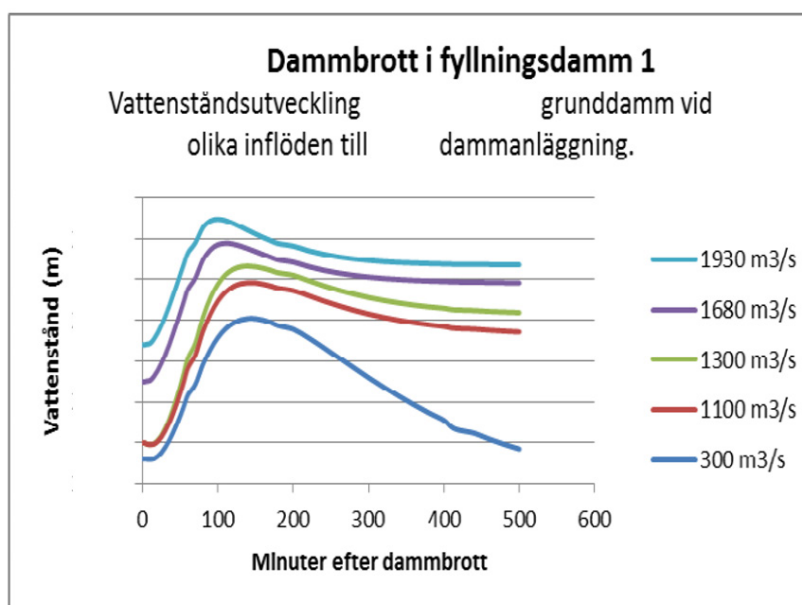
#### *Utförd konsekvensutredning*

Konsekvensutredningen visar att vid ett dammhaveri under ett högflöde riskeras att skador i form av förlust av människoliv uppstår. Sådana skador uppstår oavsett tillrinnande flöde, och skadornas omfattning ökar med ökande flöde. Även om BHF skulle kunna avbördas vid dämningens gräns, riskerar ändå skador i form av förlust av människoliv att uppstå. Detta på grund av att grunddammen nedströms bestämmer nivån vid skadeobjekten och att en stor del av magasinets volym frisläpps vid ett haveri.

### Kostnads-/nyttoanalys

För att titta på riskreducerande åtgärder utfördes en kombinerad förstudie och konsekvensutredning. Ett tekniskt förslag på en eroderbar dammdel med en fast tröskel i betong i anslutning till fyllnadsdammen har tagits fram. Den eroderbara dammdelen syftar till att förebygga höga nivåer i magasinet genom att tillåta överströmning vid en lägre nivå än vad som annars skulle vara fallet, för ett mer utdraget förlopp nedströms. I tillägg till denna åtgärd byggs också ett reglerbart utskov i anslutning till grunddammen.

Med dessa åtgärder som en förutsättning har dammhaveriberäkningar gjorts för 5 st tillrinningar i intervallet 300 m<sup>3</sup>/s – 1930 m<sup>3</sup>/s. Det lägre flödet i intervallet är ett ofta förekommande högflöde och den högsta vattenföringen i intervallet motsvarar beräknat högsta flöde (BHF). I figur 3.8 visas resultat i form av beräknade nivåer vid skadeobjekten.



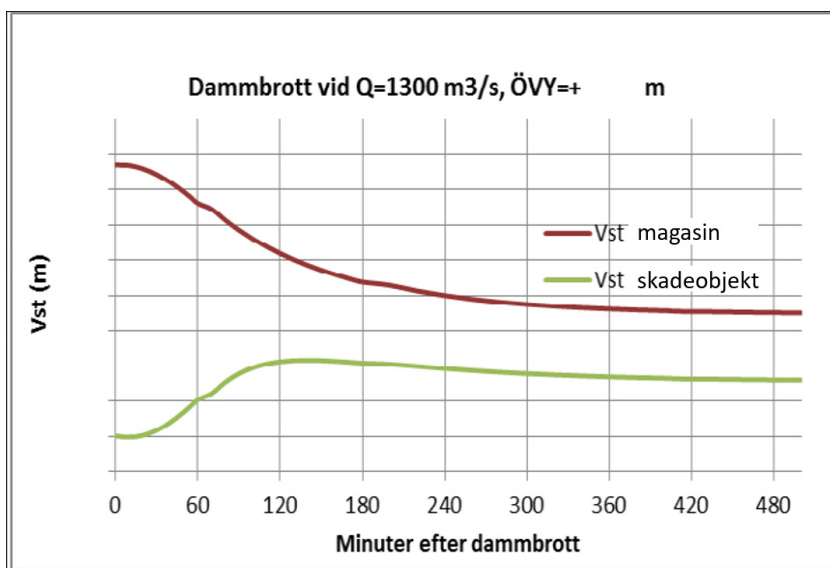
Figur 3.9: Beräknade nivåer vid skadeobjekten för dammhaveri med 5 st flödesscenarier.

*Kommentar: I detta exempel är tekniska åtgärder utgångspunkten för analysen, d.v.s. steg 8-9 i flödesschema 1 görs integrerat med tidigare steg. Flödesschema 1 steg 1-5 har sedan gått igenom för att ringa in vid vilket flöde  $Q_{bryt}$  fås efter åtgärder. Kom ihåg att skadebilden är relativt enkel där en handfull bostadshus kan tänkas påverkas och där vattenståndet är detsamma för skadeobjekten men där den kritiska nivån skiljer sig något åt mellan skadeobjekten beroende på att bostadsplanens nivå varierar.*

Resultaten av beräkningarna visar att merskadan i form av ökande vattenstånd avseende vistelse utomhus ej blir större än 0,7 m så länge grundflödena understiger ca 1200 m<sup>3</sup>/s. Ett dammhaveri vid detta flöde medför dock inte att en flodvåg snabbt får vattenståndet att stiga till 0,7 m för att lika snabbt sjunka igen. Tidsförloppet är i stället sådant att det tar minst 2 timmar innan maximumnivån nås och människor ute i det fria i anslutning till skadeobjekten.

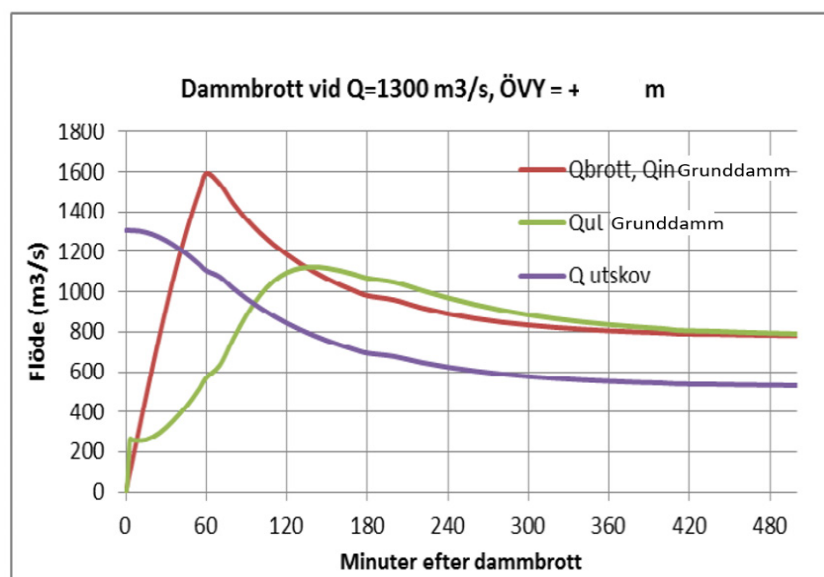
Stigningshastigheten innebär att människor inte kommer att bli överrumplade av ett stigande vattenstånd. Vattenhastigheterna är inte av någon större storleksordning vid skadeobjekten och vattendjupet i sig får anses utgöra risk. Vid grundflödet  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$  har merskadan i form av vattenståndsökning ökat till 0,8-0,9 m.

I figur 3.9 visas fyllnadsdammens utskovsavbördning samt tillrinning och avbördning vid grunddammen under ett dammhaveri vid flödet  $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figur 3.10: Beräknade nivåer i magasinet och vid skadeobjekten vid ett dammhaveri.

I figur 3.10 visas dammhaveriflöde vid samma grundflöde, tillrinning från haveriet till grunddammen samt avbördning under haveriförloppet från grunddammen. För att anonymisera anläggningen och dammägaren har nivåer dolts i figurerna.



Figur 3.11: Hydrograf med dammhaveriflöde vid  $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ , tillrinning från haveriet till grunddammen samt avbördning från grunddammen under haveriförloppet.

*Kommentar: I steg 6 i flödesschema 1 frågas om det finns en inte försumbar risken för människoliv vid ett haveri. Här är slutsatsen att risken inte kan anses försumbar från flödet 1400 m<sup>3</sup>/s och uppåt och svaret blir därmed "JA".*

Vid flödet 1400 m<sup>3</sup>/s har den eroderbara dammdelen aktiverats och dammägarens driftsorganisation är på tårna. Information och varning till de boende i området är en del av beredskapsplanen. Skulle ett haveri inträffa vid dessa högre flöden är det den bestämda uppfattningen att personer inte kommer att vistas vid skadeobjekten några längre stunder.

*Kommentar: I flödesschema 1 ruta 7 ställs frågan om en lokal beredskapsplan i kombination med annan riskreducerande åtgärd kan göra dammen säker. I exemplet här sänker åtgärderna vattenståndet vid skadeobjekten och tidsförloppet fördröjs. I det högre flödesregistret säkerställer den lokala beredskapsplanen att evakuering av människor sker vid de skadeobjekt där risk föreligger.*

Risker för eventuellt sovande människor i skadeobjekten bedöms vara små. För att bostadsplan skall översvämmas med 0,4 m (ungefärlig sänghöjd) krävs ett dammhaveri vid ett flöde om 1500 m<sup>3</sup>/s. Vid detta flöde har den specifika dammsäkerhetsåtgärd (eroderbara dammdelen) aktiverats och resonemanget blir detsamma som i föregående stycke. Det förefaller rimligt att kunna förutsätta att personer i de mest utsatta skadeobjekten, genom adekvata vid driftsituationer med återkomsttider som överstiger ca 500 år, driftsatta driftinstruktioner, uppmanas inta vistelse i annan byggnad under de dagar högflödet varar.

*Kommentar: I flödesschema 1 steg 7, 8 och 9 har i exemplet ovan ett dimensionerade flöde av storleksordningen 500 års återkomsttid valts på grundval att det den eroderbara dammdelen i kombination med ett utskov på grunddammen sänker vattenståndet vid skadeobjekten så att  $Q_{bryt}$  uppträder först vid detta flöde. Samtidigt är flödet i sig så högt att det tar lång tid att bygga upp och ger driftsorganisationen tid att aktivera beredskapsplanen och vara beredd på att evakuera människor. Lösningen ger ökad dammsäkerhet jämfört med om den enda åtgärden hade varit att uppgradera anläggningen för beräknat högsta flöde (BHF) hade valts som dimensionerande flöde.*

#### Exempel 4: B-anläggning med litet magasin och enstaka skadeobjekt direkt nedströms dammen

##### *Anläggningens och nedströmsområdets specifika förutsättningar*

I ett biflöde till en större älv ligger ett kraftverk och en dammanläggning med en fyllnadsdamm och ett litet magasin. SMHI och dammägaren har tagit fram följande karakteristiska flöden vid anläggningen:

- Utbyggnadsvattenföring 10 m<sup>3</sup>/s
- Högsta registrerade flöde 98 m<sup>3</sup>/s
- 100-års flöde: 125 m<sup>3</sup>/s
- Avbördning vid tät kärnans ö. k. 200 m<sup>3</sup>/s
- Beräknat högsta flöde (tidigare benämnt klass I-flöde) 325 m<sup>3</sup>/s



I en tidigare utförd fördjupad dammsäkerhetsutvärdering konstateras att det högsta flöde som teoretiskt bedöms kunna avbördas vid anläggningen är 200 m<sup>3</sup>/s. Avrinningsområdet och magasinet är relativt litet och anläggningens utskov hanterar inte den risk som föreligger för drivgods vid ett högt flöde. I praktiken kan det flöde som anläggningen säkert avbördar därför antas ligga betydligt lägre än 200 m<sup>3</sup>/s.

#### *Utförd konsekvensutredning*

I konsekvensutredningen har ett haveri på fyllnadsdammen vid flödesscenerierna Q<sub>normal</sub> och Q100 analyserats utifrån beräkningar med en hydraulisk modell. Av skadeobjektsinventeringen framgår att en inte försumbar risk för människoliv finns när ett haveri vid grundflödet Q100 inträffar vilket ger anläggningen dammsäkerhetsklass B. För haveri under Q<sub>normal</sub> berörs inte skadeobjekten som består av bostadshus i utströmningsområdet. En kvalificerad gissning säger att merskadan uppträder vid runt ett 50 års-flöde. För övriga skadekategorier i båda flödesscenerierna bedöms den samhälleliga påverkan som liten eller måttlig.

De skadeobjekt som leder till beslutat dammsäkerhetsklass består av några bostadshus som ligger dels längs utloppskanalen (2 st) ca 75 m respektive 125 m nedströms fyllnadsdammen och i ett samhälle (2 st) vid utloppet i älven ca 2,5 km nedströms dammen. I skadeobjektsinventeringen konstaterades att en kombination av vattendjup och vattenhastigheter vid skadeobjekten längs utloppskanalen utgör grunden för bedömningen. Den största produkten av vattendjup och vattenhastighet beräknades för bostadshuset beläget 125 m nedströms fyllningsdammen. Det beräknade vattendjupet vid de båda husen uppgår till 0,5 m respektive 0,7 m. För bostadshusen i samhället är endast vattendjupet avgörande.

*Kommentar: Med informationen ovan kan ruta 1-5 i flödesschema 1 bestämmas. I ruta 2 konstateras att det är osäkert om anläggningen har en skadebild där BHF ska väljas och att det kan vara aktuellt med en kostnads-/nyttoanalys för att undersöka om andra åtgärder än att uppgradera dammen för att säkert släppa fram detta flöde kan ge en ökad dammsäkerhet till en billigare kostnad. I ruta 5 initieras det första steget i kostnads-/nyttoanalysen där ett flöde vid vilket merskadan upphör  $Q_{bryt}$  ringas in. Kompletterande beräkningar/bedömningar behövs för att bedöma detta.*

#### *Kostnads-/nyttoanalys*

Eftersom två av skadeobjekten ligger direkt nedströms fyllnadsdammen görs bedömningen att fara för risk för förlust av människoliv kommer att uppträda oavsett vilket flöde dammen klarar att släppa fram. Andra åtgärder för att höja dammsäkerheten än att enbart uppgradera utskovskapaciteten bör utredas som alternativ. En förstudie för att se vilka olika alternativ som finns genomförs där följande alternativ föreslås:

- En kostnad för att uppgradera dammen till att säkert framsläppa BHF tas fram.
- Ett annat alternativ är att bygga om flottningsutskovet vid dammen för att minska risken för att drivgods reducerar avbördningskapaciteten vid höga flöden. En ombyggnad av flottningsutskovet innebär en kapacitet på 250 m<sup>3</sup>/s. Detta flöde motsvarar ca 77% av BHF.

- En annan åtgärd som föreslås är en skyddsmur nedströms dammen vilken i händelse av haveri skyddar bostadshusen längs utloppskanalen. Även ett högvattenskydd för bostadshusen i samhället föreslås i detta alternativ.

*Kommentar: I steg 5 konstateras att  $Q_{bryt}$  ligger ovanför det flöde som säkert kan framsläppas idag men att det även ligger ovanför BHF om anläggningen skulle uppgraderas. En annan slutsats är att förebyggande åtgärder kan höja dammsäkerheten vid anläggningen. Eftersom fara för människoliv finns vid ett haveri ställs frågan i steg 6 b om en lokal beredskapsplan med rutiner för varning och evakuering kan tänkas höja dammsäkerheten vid anläggningen? Svaret på frågan blir JA. Steg 7 som utgör en andra del i kostnads-/nyttoanalysen där riskkostnaden värderas för olika flöden genomförs.*

Följande värderingar görs av riskkostnaden:

- I alternativet att uppgradera anläggningen till BHF blir kostnaden mycket hög. Befintligt flottsutskov kan byggas om men ytterligare ett utskov krävs för att erforderlig kapacitet ska fås. Risken för förlust av människoliv kvarstår då skadeobjekten nedströms dammen är relativt flödesoberoende.
- I ett andra alternativ byggs enbart flottsutskovet om så ett högre flöde kan avbördas plus att dagens risk för drivgods hanteras. Kostnaden av åtgärden är en tredjedel vad av en uppgradering till BHF skulle kosta.
- Med alternativet skyddsmur/högvattenskydd kan den kritiska nivån vid skadeobjekten klaras upp till ett högre flöde som t o m orsakar en viss överdämning av magasinsinet kan hanteras. Skyddsmuren och högvattenskyddet kostar en tiondel av vad en omfattande uppgradering till att avbörda BHF kostar.
- Alternativ 1+3 kan kombineras liksom alternativ 2+3.

Värderingen av riskkostnaden ger att alternativet med enbart en skyddsmur+ högvattenskydd innehåller en relativt hög riskkostnad eftersom risken för att drivgods vid höga flöden reducerar utskovskapaciteten kvarstår. Enbart en uppgradering av anläggningen till BHF ger en ännu högre riskkostnad eftersom skadeobjekten är relativt flödesoberoende och ett haveri på "fel" ställe på fyllnadsdammen ger kritiska nivåer redan vid ett 50-års flöde. Däremot hanteras risken med drivgods men till en hög kostnad. Kombinationen av skyddsmur och högvattenskydd samt uppgradering till BHF ger den högsta kostnaden. En kombination av skyddsmur och högvattenskydd och en ombyggnad av flottsutskovet ger den lägsta riskkostnaden. Skyddsmuren och högvattenskyddet kan dimensioneras att klara ett haveri upp till grundflödet 220 m<sup>3</sup>/s.

Kvarstår att hantera risken för förlust av människoliv för flöden från 220 m<sup>3</sup>/s - 325 m<sup>3</sup>/s (BHF). Vid 220 m<sup>3</sup>/s är flödet ca 68 % av BHF, ett mycket högt flöde, väsentligt högre än det flöde då risk kan förväntas uppstå med dagens förhållanden (uppskattas till 50-års flödet). Vid en sådan situation som byggts upp under många veckor är driftorganisationen beredd. En beredskapsplan med information och varning till de boende i området har aktiverats. Vid en sådan situation där riskerna är kända kan människor inte förväntas vistas vid skadeobjekten som evakuerats redan vid ett lägre flöde.

*Kommentar: Denna del motsvarar ruta 7-9 i flödesschema FS 1 då olika flöden och förebyggande åtgärder analyseras med avseende på merskada och där en riskkostnad värderas. Tillsammans med en beredskapsplan som aktiveras vid ett högt flöde kan byggandet av en skyddsmur och ett högvattenskydd och delvis utbyggnad av utskovsavgörning täcka in risker till en långt lägre kostnad än om anläggningen uppgraderats till BHF. Ett dimensionerande flöde som motsvarar ca 68 % av BHF har valts.*

## 4 Slutsatser och diskussion

I detta projekt har ett förslag till arbetsgång för att bestämma dimensionerande flöde för en dammanläggning tagits fram. Nedan ges några reflektioner till de olika avsnitten i rapporten.

### *Internationell utblick*

Som en ingång till arbetet har en internationell utblick genomförts genom att be utländska aktörer (dammägare, konsulter och myndigheter) att svara på frågor om hur man bestämmer dimensionerande flöde i respektive land. På grund de olika aktörernas roller blev informationen olika detaljerad och från olika perspektiv, vilket medförde att det var svårt att få en samlad bild. Amerikanska FERCs vägledning har använts som förebild för ett iterativt förfarande att bestämma dimensionerande flöde.

### *Bestämning av dimensionerande flöde utifrån dammsäkerhetsklass*

Man kan tänka sig några olika kombinationer där skador till följd av haveri uppträder i olika delar av flödesregistret.

- Merskador finns vid höga flöden och även vid BHF. Skadebilden gäller dammar som tillhör flödesdimensioneringsklass I och kan gälla anläggningar med beslutad dammsäkerhetsklass A men kan även gälla dammar i annan beslutad dammsäkerhetsklass beroende på skadornas omfattning. Skadorna från ett dammhaveri är stora vid BHF vilket styr valet av dimensionerande flöde.
- Ett haveri medför skador vid normala flöden och merskador finns för höga flöden men upphör vid lägre flöde än BHF. Skadebilden gäller dammar som tillhör flödesdimensioneringsklass I och gäller framförallt anläggningar med beslutad dammsäkerhetsklass B eller C. Merskador från ett dammhaveri vid höga flöden är stora och styr valet av dimensionerande flöde.
- Skador vid haveri finns vid normala flöden men merskador finns inte vid höga flöden. Om skadan består av risk för förlust av människoliv är detta ett exempel på en dammsäkerhetsklass B-anläggning som tillhör flödesdimensioneringsklass II. Skadorna från ett haveri är stora vid normala flöden men merskadorna minskar vid ökande flöden vilket styr valet av dimensionerande flöde.

### *Föreslagen arbetsgång*

För att bestämma  $Q_{dim}$  har en kostnads-/nyttanalyt i tre delar föreslagits:

1. Det flöde där merskadan upphör,  $Q_{bryt}$  bestäms i ett stegvis iterativt förfarande. Det är ur skadehänseende inte motiverat att dimensionera en dammanläggning för ett högre flöde än  $Q_{bryt}$ , varför det är viktigt att ha kännedom om storleken på detta flöde.

För vissa anläggningar kan merskador finnas endast i ett (smalt) spektrum av flöden. Exempelvis att skador vid dammhaveri inte finns vid 100-årsflöde utan uppstår först vid högre flöden, för att sedan upphöra vid

ännu högre flöden. Detta är viktigt att vara medveten om det när man tillämpar det iterativa förfarandet för att bestämma  $Q_{\text{bryt}}$ .

- Om riskreducerande åtgärder kan genomföras kan ett  $Q_{\text{dim}}$  med avsteg från  $Q_{\text{bryt}}$  väljas. Riskreducerande åtgärder kan innebära både tekniska åtgärder och beredskapsplanering, eller en kombination av dessa. Tekniska åtgärder kan delas upp i åtgärder på dammanläggningen (t.ex. utbyggnad av utskovskapacitet) och åtgärder i utströmningsområdet (t.ex. invallning av skadeobjekt). För de anläggningar där risk för förlust av människoliv föreligger vid dammhaveri, föreslås att en lokal beredskapsplan inklusive varnings- och utrymningsrutiner alltid är en del av de riskreducerande åtgärderna.

När  $Q_{\text{bryt}}$  har bestämts behöver en avvägning göras mellan förväntade kostnader för haveriskador (riskkostnader) och åtgärds-kostnader för att minimera risken för att skadorna uppstår.

I de fall där immateriella skador är en del av skadebilden är det svårt att göra sådana avvägningar, eftersom sådana skador kan vara omöjliga att åtgärda. Exempel på immateriella skador är förlust av människoliv eller skador på kulturhistoriska värden. I fallet med förlust av människoliv kan en lokal beredskapsplan möjliggöra en sådan avvägning, genom att minimera risken för att sådana skador uppstår. I ett fall med skador på kulturhistoriska värden (byggnader) kan en invallning av skadeobjektet möjliggöra en sådan avvägning.

Det övergripande syftet med riskreducerande åtgärder är att säkerställa att risken för dammhaveri hålls på en tillfredsställande låg nivå, trots avsteg från  $Q_{\text{bryt}}$ .

- Åtgärds-kostnader och deras respektive riskkostnader behöver sedan i ett sista steg värderas och vägas mot varandra. Detta är en iterativ process där utfallet av ett antal olika tänkbara dimensionerande flöden testas. Antingen kan enskilda åtgärder eller en kombination av åtgärder vara det mest optimala för den aktuella dammanläggningen, ur ett kostnads-/nyttoperspektiv. Det kan exempelvis innebära att en åtgärd på dammanläggningen (t.ex. ökning av utskovskapaciteten) kombineras med en skyddsåtgärd i utströmningsområdet (t.ex. invallning av skyddsobjekt). Den först testade kombinationen av åtgärder som visar sig rimlig, behöver inte vara den mest optimala ur ett kostnads-/nyttoperspektiv.

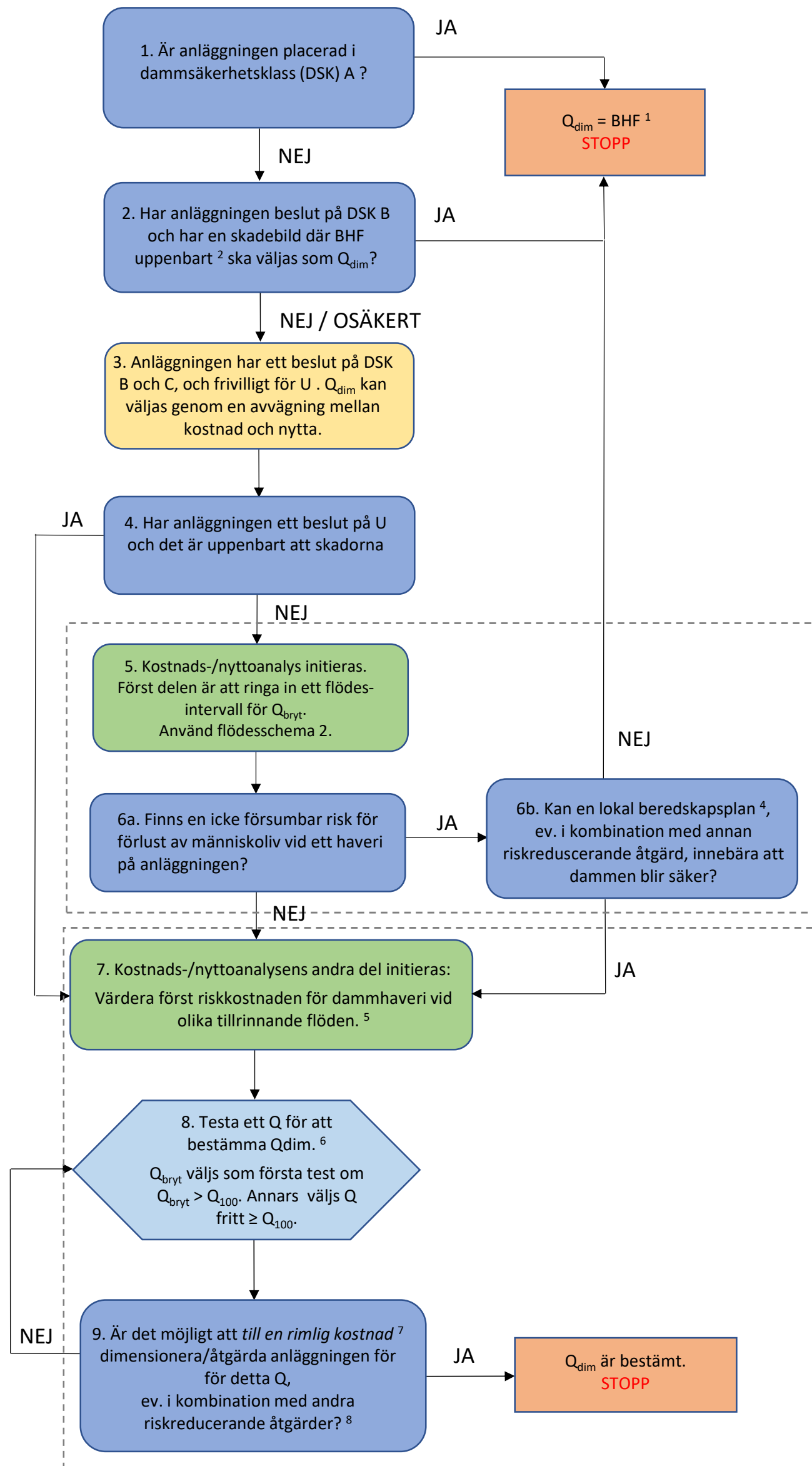
### *Rekommenderat fortsatt arbete*

Den föreslagna arbetsgången innehåller flera delar och flera steg i varje del. Arbetsgången har i detta projekt tillämpats för att bestämma dimensionerande flöde för fyra olika dammanläggningar (illustrativa exempel). Arbetsgången bör dock testas på ett större antal dammanläggningar, med olika egenskaper och förutsättningar. På detta sätt kan arbetsgången förfinas och utvecklas.

## 5 Referenser

1. Svensk Energi, *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar* (2015)
2. Energiföretagen, RIDAS 2019 (2019)
3. FERC, *Chapter II - Selecting and accomodating inflow design floods for dams* (2015)
4. FEMA, *Selecting and Accomodating Inflow Design Floods for Dams* (2004 och uppdaterad 2013)
5. Svenska Kraftnät, *Dammsäkerhetsnivå, helhetsbedömning och föreläggande om säkerhetshöjande åtgärder* (PM 2017/2480), 2017-08-23
6. Svenska Kraftnät, *Konsekoensutredningar och dammsäkertsklassificering* 2017/773 (2017)
7. FLNRO (BC), *Inflow Design Flood Estimation for Reservoirs in BC and YT* (2017)
8. [http://www.bclaws.ca/civix/document/id/complete/statreg/40\\_2016#section\\_3](http://www.bclaws.ca/civix/document/id/complete/statreg/40_2016#section_3)
9. Ontario Ministry of Natural Resources, *Classification and Inflow Design Flood Criteria – Technical Bulletin* (2011-08)
10. Norconsult AS, *Norsk praksis for å bestemme dimensjonerande flom for dammer*, (2020-02-17)

Utgå från utförd konsekvensutredning d.v.s. karaktär och omfattning hos merskadorna samt från anläggningens unika utformning och förutsättningar.



<sup>1</sup> BHF, som ersätter begreppet klass 1-flöde, ska vara bestämt enligt *Riktlinjer för dimensionerande flöden* (Svensk Energi, 2015).

<sup>2</sup> Med *uppenbart* menas att förlust av människoliv är en del av skadebilden och att mängden skadeobjekt är stor och/eller att varningstiden är så kort att det är osannolikt att en lokal beredskapsplan, inkl. varnings- och utrymningsrutiner, skulle kunna innebära att dammen blir säker m.a.p. fara för förlust av människoliv.

<sup>3</sup> Ett haveri vid en sådan anläggning medför endast mindre och lokala skador som kan återställas utan allför stora kostnader. Här kan eventuellt en förenklad kostnads-/nyttoanalys göras, utan att nödvändigtvis behöva ringa in  $Q_{bryt}$ . Gå därmed direkt vidare till steg 7, om så önskas.

<sup>4</sup> En lokal beredskapsplan (LBP), inkl. varnings- och utrymningsrutiner, är en riskreducerande åtgärd i de fall där förlust av människoliv är en del av merskadorna. Om det kan visas att en LBP gör dammen säker, kan  $Q_{dim}$  väljas med avsteg från  $Q_{bryt}$ .

<sup>5</sup> Risk för förlust av människoliv kan inte värderas. Riskkostnader för andra skadekategorier skall värderas.

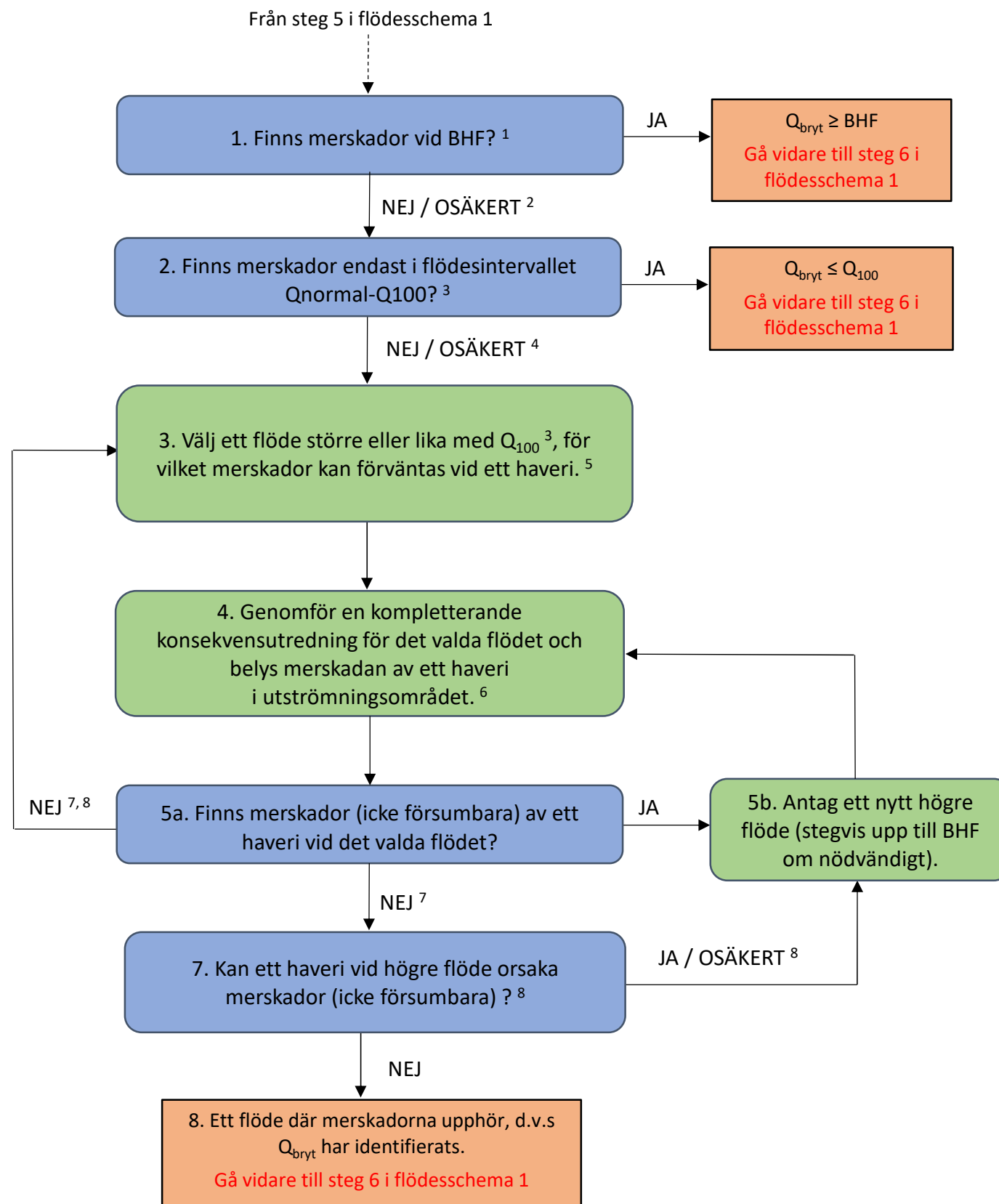
<sup>6</sup> Om  $Q_{bryt} \leq Q_{100}$  väljs Q med stigande flöde. Då skall Q itereras tills frågan i steg 9 besvaras med NEJ.  $Q_{dim}$  blir då det senaste Q som gett JA. Om  $Q_{bryt} > Q_{100}$  väljs Q med sjunkande flöde.

<sup>7</sup> Bara för att den första testade kombinationen av åtgärder visar sig vara rimlig, kan det ändå finnas andra kombinationer som är mer optimala ur ett kostnads-/nyttoperspektiv.

<sup>8</sup> Med riskreducerande åtgärd avses en förebyggande teknisk åtgärd som kan vara t.ex. en invallning av skadeobjekt. Med den förebyggande åtgärden uppnås en dammsäkerhetsnivå likvärdig med om dammen dimensionerades för  $Q_{bryt}$ .



Utgå från de flödesscenarios som har analyserats i utförd konsekvensutredning. I en sådan utredning ska haveri vid normala förhållanden och vid höga flöden vara utredda.  $Q_{100}$  är då ett vanligt förekommande flöde som analyseras. BHF har nödvändigtvis inte analyserats.



<sup>1</sup> BHF förutsätts vara bestämt enligt *Riktlinjer för dimensionerande flöden* (Energiföretagen, 2015).

<sup>2</sup> "OSÄKERT" innebär här antingen att BHF inte har analyserats eller att BHF är inte bestämt enligt *Riktlinjer för dimensionerande flöden*.

<sup>3</sup> Det är mycket vanligt att  $Q_{100}$  är ett av flödena som analyseras i konsekvensutredningar, men ett annat flöde som kan betecknas som "normalt förekommande högflöde" kan ha analyserats istället.

<sup>4</sup> "OSÄKERT" innebär här att för vissa anläggningar uppstår inte merskador vid normala flöden, utan först vid högre flöden. T.ex. en anläggning med en relativt hög damm och ett litet magasin. För flöden som kan avbördas vid dämningens gräns blir merskadorna vid ett haveri försumbara. Vid högre flöden krävs en överdämning, vilket ger större frisläppt vattenvolym vid haveri, och därmed större merskador.

<sup>5</sup> Flödet väljs utifrån i vilken del av flödesintervallet  $Q_{100}$ -BHF som merskadorna förväntas upphöra.

<sup>6</sup> Skadeinventeringen i utförd konsekvensutredning kan vara baserad på antingen numeriska flodvågsberäkningar eller på överslagsmässiga bedömningar. Här görs en bedömning om lämplig detaljeringsgrad på den kompletterande utredningen.

<sup>7</sup> Om svaret är NEJ redan första gången d.v.s. utan iteration via 5.b, innebär det att startflödet i punkt 1. är valt för högt.

<sup>8</sup> För vissa anläggningar uppstår inte merskador vid normala flöden, utan först vid högre flöden, för att sedan upphöra igen vid ännu högre flöden. Detta innebär att det finns ett flödesintervall inom vilket merskador kan uppstå, och att merskador kan antas vara försumbara vid såväl lägre som högre flöden.  $Q_{bryt}$  är då det övre värdet i det intervallet.

# KOSTNADS-/NYTTOANALYS FÖR BESTÄMNING AV DIMENSIONERANDE FLÖDE FÖR DAMMANLÄGGNINGAR

Här beskrivs en metodik som kompletterar de befintliga riktlinjerna för att bestämma dimensionerande flöde för dammanläggningar. Beskrivningen ska ge vägledning för att bestämma dimensionerande flöde främst där en rimlighetsbedömning indikerar att dimensionerande flöde bör ligga mellan ett 100-årsflöde och ett klass I-flöde.

Ju högre dammsäkerhetsklass en damm har desto högre är kraven på säkerhetsmarginal mot dammhaveri. Anläggningar i dammsäkerhetsklass A, B och C ska klara att avbörda ett tillrinnande flöde med en återkomsttid på minst 100 år. Metodiken som föreslås här anger också att anläggningar i dammsäkerhetsklass A och B där ett haveri vid höga flöden ger stora konsekvenser, alltid får beräknat högsta flöde som dimensionerande flöde. Det anges också i de befintliga riktlinjerna.

Metodiken beskrivs i rapporten och i två flödesscheman. Rapporten innehåller också fyra tillämpningsexempel.

## 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](http://www.energiforsk.se)