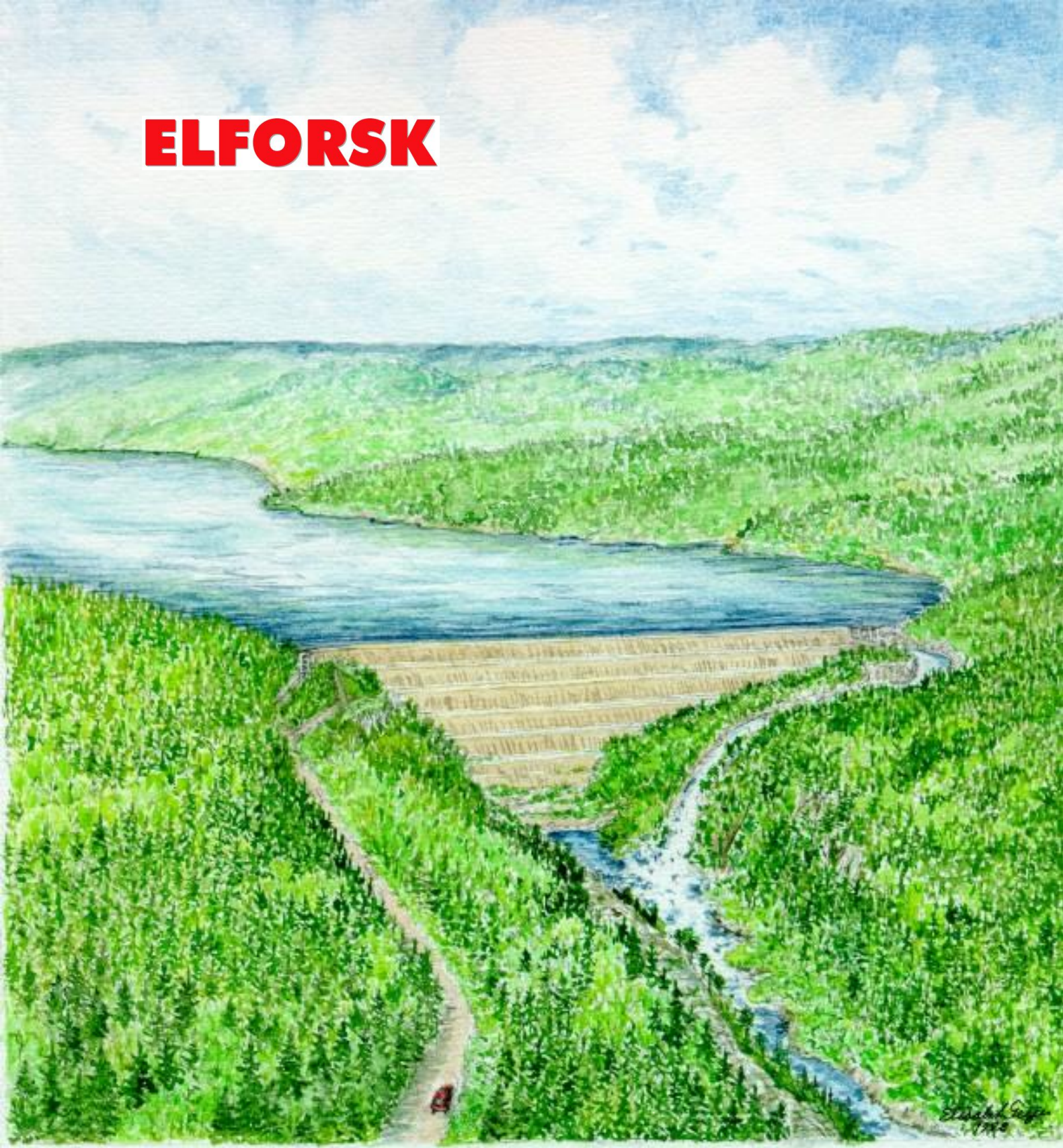


ELFORSK



DAMMSÄKERHET

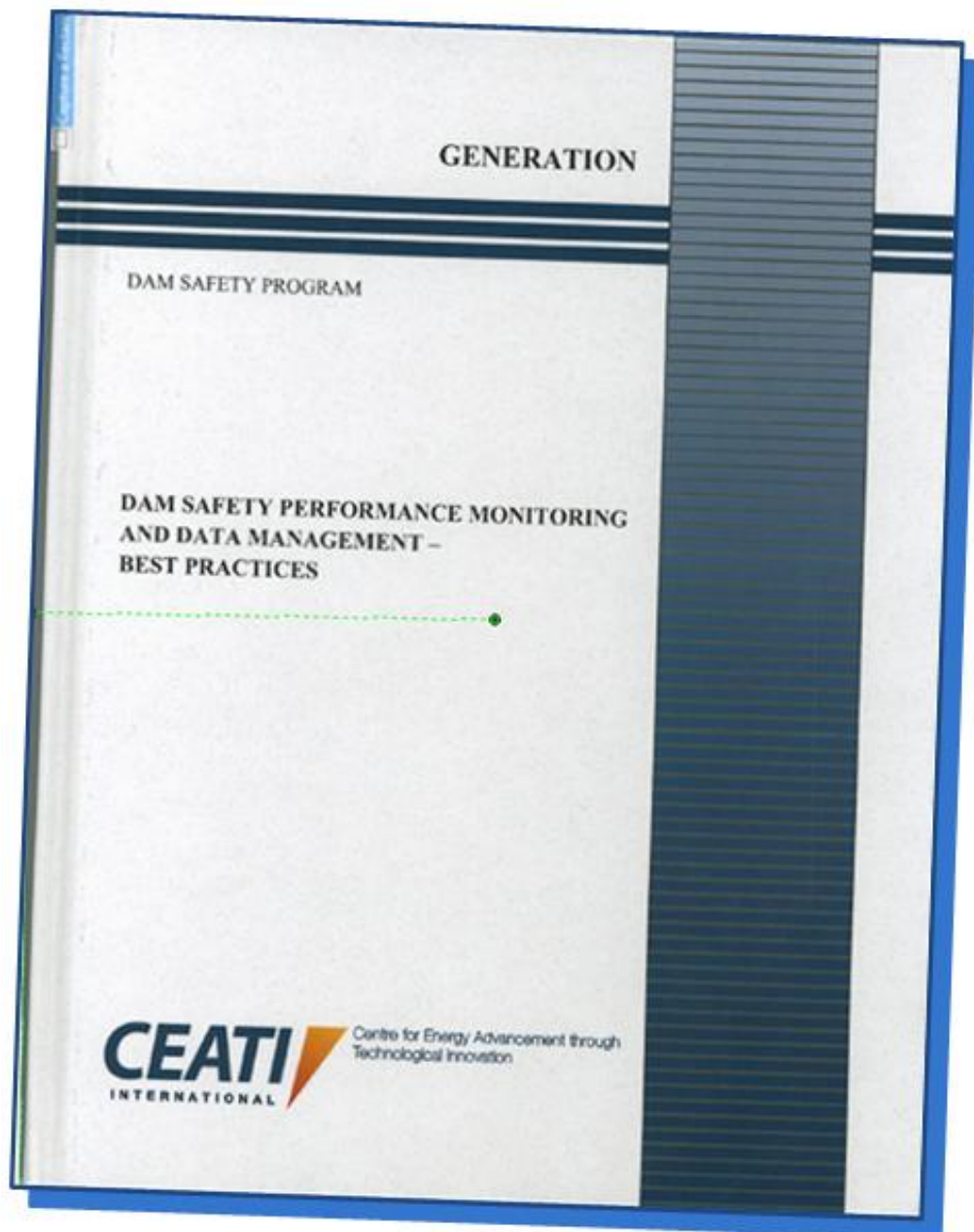
**Dam safety performance monitoring and data
management – best practice**

Svensk kortversion och reflektioner Rapport 14:09

CEATI INTERNATIONAL

DAM SAFETY INTEREST GROUP (DSIG)

CEATI REPORT No. T082700-0210



Dam safety performance monitoring and
data management – best practices

Svensk kortversion och reflektioner

Elforsk rapport 14:09

Förord

Elforsk deltog under 2011 och 2012 i projektet "DAM SAFETY PERFORMANCE MONITORING AND DATA MANAGEMENT – BEST PRACTICES" som genomfördes inom Dam Safety Interest Group (DSIG). Projektet resulterade i CEATI REPORT No. T082700-0210, som finns presenterad i slutlig version daterad oktober 2012.

Rapporten är sammanställd av William Broderick från Paul C. Rizzo Associates, Inc. New York, USA och Allen Marr; Ph.D. från Geocomp Corporation, Massachusetts, USA.

Elforsk har varit en av 23 deltagare i projektet och Åke Nilsson, WSP har på uppdrag av Elforsk deltagit i projektets arbetsgrupp. Under arbetets gång har Jonas Birkedahl, Fortum, Claes-Olof Brandesten, Vattenfall, Martin Johansson, Skellefteå Kraft, Jan Liif, Statkraft, Carl-Oscar Nilsson, E.ON och Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen bidragit med svar på enkäter om hur man genomför dammsäkerhetsarbetet och om riktlinjer för instrumentering av dammar i Sverige.

Föreliggande rapport, är en svensk kortversion av DSIG-rapporten kompletterad med författarens egna reflektioner. Den har sammanställts av Åke Nilsson, WSP och interngranskats av Håkan Bond, WSP. Rapporten är en kraftig nedkortning av den ca 400 sidor långa DSIG rapporten. De delar som har tagits med, är sådana som bedömts vara aktuella för svenska dammar, dvs befintliga dammar byggda för några decennier sedan. Anna Engström Meyer, Svenska Kraftnät har bidragit med att strukturera rapporten som fått en något annorlunda disposition än DSIG-rapporten. Härigenom har arbetssättet för att upprätta program för tillståndskontroll med fokus på övervakning särskilt lyfts fram.

Rapporten är ett resultat inom Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete. Projektet har finansierats av de dammägare som deltar Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete och av Svenska kraftnät. Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete syftar till att främja kunskaps- och kompetensutveckling inom dammsäkerhetsområdet, att långsiktigt stödja kraftindustrins dammsäkerhetspolicy samt ge stöd åt fortsatt utveckling av branschens riktlinjer (RIDAS).

Stockholm mars 2014



Cristian Andersson

Sammanfattning

Denna rapport är en kortversion av rapporten "DAM SAFETY PERFORMANCE MONITORING AND DATA MANAGEMENT – BEST PRACTICES, CEATI REPORT No. T082700 - 0210" inom CEATI:s Dam Safety Interest Group (DSIG).

I rapporten beskrivs hur en dammägares program för tillståndskontroll kan utvecklas. Programmet bör omfatta förfaranden för att garantera att uppgifter är korrekta och utvärderas i tid, att avvikelser analyseras noggrant och att lämpliga åtgärder vidtas för de fall tillståndskontrollen visar att dammen inte fungerar som avsett.

Tillståndskontroll kan ge tidig varning avseende förhållanden som kan bidra till dammhaverier och incidenter. Program för tillståndskontroll måste noggrant planeras och genomföras för att uppfylla fastställda mål. Data behöver samlas, sammanställas och analyseras med avseende på betydelsen för dammens säkerhet. De som arbetar med tillståndskontrollen måste förstå betydelsen av förändringar och veta när de ska agera på dessa.

I rapporten beskrivs ett systematiskt arbetssätt för utformning, installation och användning av ett tillståndskontrollssystem i följande steg:

1. Samla in och utvärdera information om dammen
2. Identifiera tänkbara förlopp för dammbrott. Vilka osäkerheter finns och vilka frågor behöver svar?
3. Identifiera mätningar som kan och bör göras
4. Projektera lämpligt mätsystem
5. Planera installation, kalibrering, skydd, underhåll, datainsamling och datahantering
6. Upphandla, testa, installera och ta systemet i drift
7. Underhålla och kalibrera mätinstrument och avläsningar
8. Samla in, bearbeta och utvärdera data
9. Tolka och rapportera resultat
10. Vidta åtgärder vid behov

I några av avsnitten har rekommendationerna i DSIG-rapporten jämförts med RIDAS, kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet. Det noteras att rekommendationerna i DSIG-rapporten fokuserar mycket mer än RIDAS på att använda felmodsanalyser som ett underlag för att utveckla programmet för tillståndskontrollen. Dessutom betonas i DSIG-rapporten att instrumentering ska utformas på ett sådant sätt att osäkerheter reduceras. Riskanalys introduceras som ett verktyg för att uppskatta den nytta som programmet för tillståndskontroll ger.

Summary

This report is a short version of the CEATI REPORT No. T082700-0210 "DAM SAFETY PERFORMANCE MONITORING AND DATA MANAGEMENT – BEST PRACTICES" with the sponsorship of participants of CEATI's Dam Safety Interest Group (DSIG).

In the report it is described how a dam owner's performance monitoring plan could be developed. The plan should comprise procedures to assure that the data obtained are accurate and evaluated in a timely manner, anomalies are thoroughly investigated and appropriate actions are taken in the event the data indicate that the dam is behaving in an adverse manner.

Performance monitoring can provide early warnings for many conditions that contribute to dam failures and incidents. The performance monitoring must be carefully planned and executed to meet defined objectives. Data must be collected, reduced, and analysed with respect to what it indicates about the safety of the dam. The monitoring team must understand the significance of changes. They should have triggers defined for taking action.

In the report a systematic approach to design, installation and application of a performance monitoring system is described in the following steps:

1. Assemble and review information about the dam
2. Identify the probable failure modes. What uncertainties exist and what questions need answering?
3. Identify what measurements can and should be made
4. Design appropriate monitoring system
5. Plan installation, calibration, protection, maintenance, data collection and management
6. Procure, test, install and commission instruments
7. Maintain and calibrate instruments and readouts
8. Collect, process and evaluate data
9. Interpret and report results
10. Take action when required

The recommendations in the report are in some of the sections compared with the Swedish Dam Owners Safety Guidelines and Recommendations, RIDAS. It is noted that the recommendations in the DSIG report focus more than RIDAS on failure modes as a base to develop the performance monitoring plan. In addition the DSIG report stresses that the instrumentation should be designed to reduce uncertainties. The concept of risk assessment is introduced as a way to estimate the benefits of a dam safety monitoring program.

Innehåll

1	Inledning	2
1.1	Mål och syfte	2
1.2	Rapportens utformning	2
2	Systemetiskt arbetssätt för tillståndskontroll	5
2.1	Systematiskt arbetssätt – steg för steg	5
2.2	Steg 1 - Samla in och utvärdera information om dammen	7
2.3	Steg 2 - Identifiera tänkbara dammbrottsförlopp.....	7
2.4	Steg 3 - Identifiera vilka mätningar som kan och bör göras.....	7
2.5	Steg 4 - Projektera lämpligt mätsystem.....	8
2.6	Steg 5 - Planera installation, kalibrering, skyddsanordningar, underhåll, datainsamling och datahantering	9
2.7	Steg 6 - Upphandla, installera, testa och ta mätsystemet i drift	9
2.8	Steg 7 - Underhålla och kalibrera instrumenten	10
2.9	Steg 8 - Samla in, bearbeta och utvärdera mätdata.....	10
2.10	Steg 9 - Tolka och rapportera resultat	11
2.11	Steg 10 - Vidta åtgärder	13
2.12	Åtgärdsplaner	14
2.13	Organisationens kompetens.....	16
3	Dammbrottsförlopp och statistik	18
3.1	Dammbrottsförlopp (Failure Modes)	20
3.1.1	Fyllningsdammar	20
3.1.2	Betongdammar	20
3.1.3	Exempel på redovisning av dammbrottsförlopp (failure modes) ..	20
3.2	Statistik från National Performance of Dams (NPDP)	23
3.2.1	Underlag	23
3.2.2	Dammbrott – antal	24
3.2.3	Dammbrott - orsaker och tidsskeden	24
3.3	Ka Loko Dam	26
3.4	Taum Sauk	26
4	Exempel – Omfattning av tillståndskontroll	28
4.1	Omfattning	28
4.2	Dammar med "små" konsekvenser	29
4.3	Dammar med "mellanstora" konsekvenser	29
4.4	Dammar med "stora" konsekvenser	30
5	Exempel - Riskanalys som verktyg för att motivera tillståndskontroll	31
5.1	Orientering	31
5.2	Exempel.....	32
6	Författarens egna reflektioner	35

1 Inledning

1.1 Mål och syfte

Det finns inga enkla regler eller standarder för att bestämma lämplig nivå för tillståndskontroll vid en dammanläggning. Tillståndskontroll är ett samlingsbegrepp för de övervaknings- och kontrollaktiviteter som genomförs för en dammanläggning, såsom inspektioner, driftmässig tillsyn, dammätningar och värdering av mätdata samt funktionskontroller. Tillståndskontrollen bör utföras enligt ett anläggningsanpassat program.

Rapporten är skriven med målet att visa både behovet av underlag och hur man på bästa sätt upprättar ett program för tillståndskontroll med fokus på övervakning och hantering av mätdata.

Syftet är att visa på behovet för dammägare att upprätta och arbeta i enlighet med ett program för tillståndskontroll där inspektioner, verifikationer och övervakning är viktiga delar. Syftet är dessutom att beskriva ett systematiskt arbetssätt för att upprätta program för tillståndskontroll som utgår från kunskap om dammanläggningen och tänkbara dammbrottsförlopp.

1.2 Rapportens utformning

Denna rapport är en kraftig nedkortning av den ca 400 sidor långa DSIG-rapporten. De delar som har tagits med, är sådana som bedömts vara aktuella för svenska dammar, dvs befintliga dammar byggda för några decennier sedan.

I Sverige finns delar av frågeställningarna behandlade i kraftföretagens nuvarande riktlinjer för dammsäkerhet (RIDAS 2012) med dess tillämpningsvägledning, som flertalet är daterade i november 2011. I början av flera av de avsnitt som följer finns en ruta, där det med ett par meningar anges vad avsnittet behandlar tillsammans med författarens eventuella egna kommentarer samt om motsvarande finns behandlat i nuvarande utgåva av RIDAS.

Mindre tillägg har gjorts av innehållet i rapporten med information från annat håll än DSIG-rapporten. Referenser har då getts om varifrån informationen är hämtad.

Denna rapport har en annan disposition än DSIG-rapporten. Avsnitt 2 beskriver ett systematiskt arbetssätt för att upprätta program för tillståndskontroll, med tyngdpunkt på övervakning. Arbetssättet beskrivs steg för steg. Särskilt fokus läggs på möjlighet att göra presentationer av mätdata med hjälp av anpassade dataprogram för dammätningar åtgärdsnivåer samt framtagande av åtgärdsplaner.

Avsnitt 3 beskriver tänkbara dammbrottsförlopp för olika typer av dammar, orsaker till att dammbrott inträffar samt ger statistik för sannolikheten för dammbrott.

I avsnitt 4 ges exempel på hur tillståndskontroll med inspektioner och instrumentering kan integreras och anpassas till dammar i olika konsekvensklasser.

I avsnitt 5 beskrivs hur riskanalys kan användas som verktyg för att motivera nivån på tillståndskontrollen.

I avsnitt 6 ges författarens reflektioner över utvecklingsområden avseende instrumentering och mätdatahantering i Sverige.

Nyckelord som används i rapporten listas i Tabell 1-1. (Bl.a. från Elforsk-rapport 13:60 Dammsäkerhet – Dammsäkerhetsutvärdering och program för tillståndskontroll - En studie av begrepp, arbetssätt och sammanhang).

Tabell 1-1 Nyckelord i rapporten

Nyckelord	Beskrivning
Tillståndskontroll	Tillståndskontroll är ett samlingsbegrepp för de manuella kontrollaktiviteter som utförs på en anläggning och insamling/värdering av mätdata. Tillståndskontroll är ett systematiskt arbete där de olika aktiviteterna kompletterar varandra och tillsammans ger en uppfattning om en anläggnings aktuella status och förekomst av förändringar som kan ha påverkan på dammsäkerheten. Tillståndskontrollen för en dammanläggning kan sägas bestå av tre huvuddelar: - Inspektioner - Verifikationskontroll - Övervakning
Inspektion	Inspektion är ett samlingsbegrepp som används för olika aktiviteter som utförs på plats för att kontrollera status hos en dammanläggning och då särskilt de avvikelser som redovisats i tidigare analys- och tillståndskontrollaktiviteter. Inspektioner utförs normalt med visst tidsintervall som är längre än en månad.
Övervakning	Syftet med övervakning är att upptäcka och observera förändringar beträffande dammanläggningens tillstånd. Övervakning kan vara antingen manuell eller automatisk. Den automatiska övervakningen tillsammans med manuell avläsning och registrering av data har samlingsbegreppet dammätning. Utöver den direkta insamlingen av mätdata, automatisk eller manuell, inkluderas i begreppet övervakning även kvalitetssäkring och analys av mätdata. Hela dammätningsprocessen ingår således i övervakningen.

Verifikationskontroll	Syftet för verifikationskontroll är att kontrollera funktion och tillförlitlighet hos (främst mekanisk och elektrisk) utrustning och tekniska system som har betydelse för dammsäkerheten. Verifikationskontroll omfattar kontroll och test av tekniska funktioner hos en dammanläggning, dvs. funktionskontroll. De tekniska funktionerna som provas är främst avbördningssystem och vattennivåmätning samt övervaknings- och säkerhetssystem kopplade till dessa. Även andra tekniska övervakningssystem för dammanläggningen såsom automatisk dammätningssystem ska omfattas av verifikationskontroll.
Instrumentering	Mätanordningar som exempelvis mätöverfall, porttrycksmätare, temperaturmätare etc.
Program för tillståndskontroll	Ett anläggningsanpassat program för tillståndskontroll bör finnas för varje dammanläggning. Programmet kan delas upp i olika delar för de olika typerna av tillståndskontroll. Ett program bör innehålla syftet med mätningarna/observationerna, vilka mätningar/observationer som ska göras, hur, var och hur ofta mätningar/observationer ska göras, hur instrumentering ska skötas och kalibreras, hur sammanställning, utvärdering och rapportering ska genomföras, åtgärdsnivåer samt vad som ska göras om nivåerna överskrids.
Åtgärdsnivåer "Varselvärde" "Larmvärde"	"Varselvärde" ska indikera ett värde som är något högre än förväntat värde. Mätvärden över detta värde bör leda till ytterligare studier av orsaken och vilka åtgärder, som vid behov kan genomföras för att förhindra att mätvärdet stiger ytterligare. "Larmvärde" ska ange maximalt accepterat mätvärde. Vid denna nivå behöver åtgärder vidtas; t.ex. att omgående verifiera resultaten och undersöka orsaken samt åtgärder för att förhindra att mätvärden stiger ytterligare inklusive att vid behov undersöka möjligheten att sänka av magasinsnivån.
Åtgärdsplaner	En damm ska ha en åtgärdsplan som kan tillämpas för att minska riskerna när tillståndskontrollen indikerar att dammen inte fungerar som avsett. Åtgärder, som är anpassade till varje dammbrottsförlopp, bör identifieras.

2 Systemetiskt arbetssätt för tillståndskontroll

I avsnittet beskrivs ett systematiskt arbetssätt för att ta fram ett program för tillståndskontroll. Arbetet behöver göras av en grupp med personer från olika teknikområden (från dammägarens organisation och vid behov kompletterad med konsulter) och med personer inom organisationen som har olika ansvarsområden. Framtagningen av åtgärdsplaner och åtgärdsnivåer (normalnivå, varselnivå och larmnivå) beskrivs och används som grund för programmet för tillståndskontroll.

Sammansättningen av arbetsgruppen och arbetssättet överensstämmer i stora drag med det som i RIDAS beskrivs som "situationsanalys". Situationsanalysen har dock i huvudsak målet att mynna ut i "åtgärdsplaner" och underlag för "beredskapsplaner", jämför "RIDAS 5.3.1 beredskapsplan" och "5.3.2 dammägarens beredskapsplanering". Vidare beskrivs i RIDAS drifttillstånd "normal, skärpt och störd drift" (RIDAS kap 6), vilka har stor likhet med nedan beskrivna åtgärdsnivåer.

I RIDAS kan målet med "situationsanalys" utvidgas till att vid behov uppdatera dammens övervakningsprogram, speciellt instrumenteringen.

2.1 Systematiskt arbetssätt – steg för steg

Tillståndskontrollen inklusive övervakning av en dammanläggning är en viktig del av en dammägares dammsäkerhetsarbete. Ett program för tillståndskontroll bör innehålla riktlinjer och rutiner för att försäkra de uppgifter som erhålls är korrekta och utvärderas i tid, att avvikelser undersöks ordentligt, och att lämpliga åtgärder vidtas vid behov.

Utveckling av ett program för tillståndskontroll för en befintlig damm kräver en arbetsgrupp med deltagare som har god kännedom av dammen. I gruppen bör ingå projektör för dammen, person med kunskap om de geotekniska/geologiska förutsättningarna, drift- och underhållspersonal, person ansvarig för instrumenteringen och någon som har kännedom om samverkan mellan konstruktionen av dammen och placeringen och underhållet av instrumenten. Dessa specialister behöver arbeta tillsammans för att på ett systematiskt sätt gå igenom de olika stegen för att nå fram till ett genomtänkt program för tillståndskontroll.

Den ursprungliga konstruktören av en befintlig damm är i många fall inte tillgänglig och drifterfarenheter kan indikera att tänkbara dammbrottsförlopp inte beaktades vid den ursprungliga projekteringen. Speciellt i dessa fall behövs en grupp av personer som är kunniga i dammars funktion, förhållanden inne i dammen, tidigare erfarenheter under driften och befintliga övervakningsprogram för att utvärdera tänkbara dammbrottsförlopp. Det kan finnas behov av att genomföra underhåll av den befintliga instrumenteringen och komplettera med ny instrumentering.

VI BEHÖVER GENOMFÖRA EN MÄNGD ÖVERVAKNINGSARBETE, MEN DET VI GÖR SKA VI GÖRA FÖR ETT ÄNDAMÅL OCH GÖRA DET BRA.

Systematiskt tillvägagångssätt för att upprätta program för tillståndskontroll, med fokus på övervakning, som beskrivs av Dunncliff (1993), har i denna rapport minskats ner till 10 steg enligt Tabell 2-1.

Tabell 2-1 Tio steg för att upprätta ett program för tillståndskontroll

STEG	BESKRIVNING
1	SAMLA IN OCH UTVÄRDERA INFORMATION OM DAMMEN - Platsundersökningar och tillståndsundersökningar - Dokument från projektering och byggande - Ombyggnader, om sådana genomförts - Instrumenteringsprogram och mätningar
2	IDENTIFIERA TÄNKBARA FÖRLOPP FÖR DAMMBROTT - Hur kan dammbrott tänkas inträffa? - Vilka osäkerheter finns? - Vilka frågor behöver svar?
3	IDENTIFIERA MÄTNINGAR SOM KAN OCH BÖR GENOMFÖRAS - Definiera motiv för instrument för att ge svar på oklarheter och minska osäkerheterna - Välj parametrar för mätning och frekvens för mätningarna - Uppskatta mätområde - Identifiera möjliga åtgärder om mätningen skulle visa osäkra förhållanden - Fördela ansvar och arbetsuppgifter
4	PROJEKTERA LÄMPLIGT MÄTSYSTEM - Välj instrument - Välj plats för instrumenten - Välj system för att samla in mätdata - Upprätta varsel- och larmnivåer - Upprätta tillvägagångssätt för kontroll av mätdata - Lista syfte/anledning för varje instrument - Upprätta projekteringsrapport för instrumenteringen - Skriv specifikationer för upphandling och installation - Förbered budget och motiveringar för investeringen - Revidera programmet vid behov
5	PLANERA INSTALLATION, KALIBRERING, UNDERHÅLL, DATAINSAMLING OCH DATAHANTERING
6	UPPHANDLA, INSTALLERA, TESTA OCH TA SYSTEMET I DRIFT
7	UNDERHÅLLA OCH KALIBRERA INSTRUMENTEN
8	SAMLA IN, BEARBETA OCH UTVÄRDERA DATA
9	TOLKA OCH RAPPORTERA RESULTAT
10	VIDTA ÅTGÄRDER VID BEHOV - Om osäkerhet uppstår kan omarbetningar vara nödvändiga - Ändra mätfrekvensen - Reparera, ersätt, lägg till eller ta bort instrument

2.2 Steg 1 - Samla in och utvärdera information om dammen

Att upprätta ett program för tillståndskontroll för en befintlig damm kräver ingående kännedom om platsen och uppbyggnaden av dammen. Instrument är placerade eller ska placeras för att samla in information för att kunna svara på specifika frågor om dammens funktion, dess grundläggning och hur anslutningarna fungerar. Utformningen av instrumenteringen behöver därför ta hänsyn till den information som samlats in från studier och undersökningar. Denna information kan visa platser med avvikande förhållanden, som projektören känt till, och partier där förhållandena varit okända eller osäkra.

Rapporter från projekteringen kan eventuellt ge information om osäkerheter beträffande hur dammen kommer att fungera. Rapporter från byggandet kan ge information om avvikelser som påträffats under byggnadstiden, t.ex. oväntade grundförhållanden, förskjutningar större än förväntade, läckage. Något av dessa förhållanden kan indikera var kompletterande instrumentering bör placeras för att kunna mäta effekterna av avvikelserna i dammens funktion. Data, som erhålls från instrumenteringen, behöver utvärderas för att bestämma om något instrument behöver underhåll eller om något instrument behöver läggas till eller om något instrument kan tas bort.

2.3 Steg 2 - Identifiera tänkbara dammbrottsförlopp

På grund av de naturligt stora variationerna i undergrunden och fyllningsmaterialet återstår viss osäkerhet även efter omfattande undersökningar. Erfarna projektörer ansätter därför konservativa utformningar och vidtar försiktigheter för att täcka in osäkerheter. Detta görs speciellt där en konservativ utformning har liten påverkan på kostnaderna. Betänkligheter återstår dock ofta beträffande hur dammen kommer att deformeras och hur vatten kommer att strömma genom dammen och grundläggningen. En analys av tänkbara dammbrottsförlopp är ett effektivt sätt att bestämma vilka frågor, som återstår att besvara efter det att dammens funktion studerats under byggnadstiden, första uppfyllningen av magasinet och dess funktion under drifttiden. För mer information om dammbrottsförlopp se avsnitt 3.

2.4 Steg 3 - Identifiera vilka mätningar som kan och bör göras

Osäkerheterna, som ovan kommit fram i Steg 2, studeras vidare för att se vilka osäkerheter, som kan tas bort eller minskas ner genom ett program för tillståndskontroll. Om det till exempel finns en osäkerhet hur vattnet läcker genom undergrunden på grund av en komplex geologi kan porttrycksmätare installeras för att mäta vattentrycket i representativa punkter t.ex. längs nedströms dammtå. Exempel på typiska instrumenttyper listas i Tabell 2-2. Förutom dessa typiska instrument är det i första hand tillsynen, som kan utökas med visuella observationer av tränad personal som kan se förändringar i markytan t.ex. sprickor, utflytningar, ojämna rörelser, läckage, blöta partier och grumligt vatten.

Tabell 2-2 Typiska instrument för övervakning av fyllningsdammar

Instrumenttyp	Vad den typiskt mäter
Porttrycksmätare	Porttryck, magasinsnivå, nedströmsvattenyta
Flödesmätare	Flöde från läckage och dräner
Grumlighetsmätare	Sediment i strömmande vatten
Sättningsmätare	Förändringar i nivå på fixpunkter på dammen
Förskjutningspunkter	Rörelser i tre riktningar av punkter på ytan
Inklinometer	Horisontella rörelser längs ett rör installerat genom dammen

I detta skede är det ofta lämpligt att bestämma acceptabla värden för varje instrument. Från uppskattade värden för varje givare bestäms preliminära "varselvärden" och "larmvärden".

"Varselvärde" ska indikera ett värde som är något högre än förväntat värde. Mätvärden över detta värde bör leda till ytterligare studier av orsaken och vilka åtgärder, som vid behov kan genomföras för att förhindra att mätvärdet stiger ytterligare.

"Larmvärde" ska ange maximalt accepterat mätvärde. Vid denna nivå behöver åtgärder vidtas; t.ex. att omgående verifiera resultaten och undersöka orsaken samt åtgärder för att förhindra att mätvärden stiger ytterligare inklusive att vid behov undersöka möjligheten att sänka av magasinsnivån.

2.5 Steg 4 - Projektera lämpligt mätsystem

I detta skede väljs typ av instrument och dess placering samt system för insamling inklusive procedurer för att kontrollera insamlad information. Vissa instrument kan ha målet att verifiera antaganden vid projekteringen av dammen. Andra instrument installeras för att övervaka eventuella förändringar som kan uppstå i ingående materialzoner i dammen. Följande faktorer påverkar valet av instrument och lägen:

- Instrumenten placeras där de kan ge svar på viktiga frågor och där de kan vara skyddade under lång tid.
- Instrument placeras där de kan ge redundans och kontroll av andra instrument.
- Instrumenttyper väljs som har hög tillförlitlighet, tillräcklig noggrannhet, lång livslängd och enkelhet.
- Metoder att samla in mätvärden.

Steg 4 bör avslutas med utarbetande av en rapport om mätsystemet. Rapporten bör dokumentera målet för instrumenteringen och ge en redovisning av instrumenteringen i både plan och sektion. Det är också lämpligt att i detta skede redovisa preliminära varselvärden och larmvärden för varje instrument.

2.6 Steg 5 - Planera installation, kalibrering, skyddsanordningar, underhåll, datainsamling och datahantering

Metodbeskrivningen för installationen ska, förutom information om hur instrumentet ska installeras, ge information om hur instrumentet kan ersättas om det slutar att fungera samt hur instrumentet säkert kan överges då det inte längre behövs. Årliga kalibreringar bör planeras av instrumenten. Ett underhållsprogram bör utvecklas hur givare och insamlingsenheter ska kunna hållas i god funktion och hur enheter ska kunna ersättas om de slutar att fungera. En viktig komponent är i detta skede utbildning av den personal som ska genomföra övervakningsprogrammet inklusive dess underhåll.

En budget bör tas fram för genomförandet av övervakningsprogrammet. Budgeten behöver förutom kostnaden för instrumenten och installationen innehålla kostnader för att samla in data, underhålla utrustningen, redovisa och utvärdera informationen. Metodbeskrivningen ska ge hjälp till att motivera de bedömda kostnaderna.

2.7 Steg 6 - Upphandla, installera, testa och ta mätsystemet i drift

Ett noggrant genomförande av detta steg är nödvändigt för en långvarig framgång för programmet för tillståndskontroll. Följande rekommendationer kan vara till hjälp:

- Följ specifikationerna, var försiktig med att göra utbyte utan god teknisk orsak.
- Samla tillverkarens leveranslistor och tekniska specifikationer.
- Genomför kalibreringar om möjligt dels vid 0–10 % av mätområdet, dels vid 90–100 % av mätområdet. Utarbeta en rapport med resultaten.
- Gå igenom handlingar för installationen med den personal, som ska genomföra arbetet.
- Om instrument visar osäker funktion avbryt då installationen och försök att utreda problemen. Vid behov byt ut instrumentet.
- Efter installationen, kontrollera att avläsningar visar rimliga och stabila värden.
- När mätvärden har stabiliserats ta minst tre avläsningar under stabila förhållanden. Avläsningarna ska utgöra underlag för nollmätning.
- Kontrollera att installationsrapporten är fullständig och korrekt samt ta instrumentet i drift.

2.8 Steg 7 - Underhålla och kalibrera instrumenten

Frekvensen för kalibrering ska väljas enligt tillverkarens rekommendationer, vilket vanligen är en gång per år om inget oförutsett inträffar. Många givare kan inte kalibreras efter det att de installeras, varför det är viktigt att de är installerade med verifierade kalibreringsdata. Det kan även vara motiverat att installera flera givare för att få redundans i ett parti som ska övervakas.

2.9 Steg 8 - Samla in, bearbeta och utvärdera mätdata

PROGRAM FÖR TILLSTÅNDSKONTROLLEN HAR MISSLYCKATS OM INSAMLAD INFORMATION ALDRIG ANVÄNDS.

OM DET FINNS EN TYDLIG ANLEDNING FÖR TILLSTÅNDSKONTROLLEN GER DET VÄGLEDNING FÖR HUR INFORMATIONEN SKA UTVÄRDERAS.

UTAN ANLEDNING KAN DET INTE BLI EN UTVÄRDERING!

Historiskt insamlades data under byggnadstiden vanligen veckovis eller månadsvis, medan det under driftperioden vanligen sker kvartalsvis eller årligen. Med anledning av de stora konsekvenserna av dammbrott är mer frekventa avläsningar ofta motiverade. Automatiska mätningar görs vanligen flera gånger per dygn, vilket hjälper till att särskilja periodiska händelser, t.ex. funktionsfel från årstidsvariationer eller dagliga miljöfaktorer. Möjlighet finns härigenom att ta bort störningarna.

Personal, som bearbetar data, behöver förstå skillnaden mellan rådata och rapporterade resultat. De behöver förstå kalibreringsfaktorer eller andra faktorer, som kan påverka mätvärdena, och kunna sortera bort orealistiska värden. Personalen behöver också förstå begreppen varselvärde och larmvärde och hur dessa är bestämda.

Mätdata behöver vanligen presenteras på ett flertal olika sätt för att underlätta utvärderingen. Förr gjordes diagram för hand. Nu används ofta exempelvis EXCEL för kalkyler och diagram, vilket kan bli komplicerat genom att skalor ibland behöver ändras. Vidare fungerar EXCEL inte bra för mätningar i realtid. Nu finns dataprogram, som är anpassade till dammätningar.

Några program som är anpassade för dammätningar listas nedan:

- ARGUS by ITM-Soil, Floreat, WA, Australia, <http://www.itm-soil.com.au/content/argus-monitoring-software-0>, web-based data management, calculation, and presentation tool
- ATLAS by Slope Indicator Co, Mukilteo, WA, USA, <http://www.slopeindicator.com/atlas/index.html>, web-based data management system for automatic data processing
- AvaNet® by Bergsäker, Göteborg, Sweden, <http://www.bergsaker.se/>, web-based data management system for processing and displaying measured data in real-time
- Canary Systems, Inc., New London, NH, USA, www.canarysystems.com, data acquisition systems and software solutions for local or remote database management;
- DamSmart by URS Corp., www.damsmart.com, a sophisticated system developed specifically for dams;
- GEOSCOPE by SolData, Nonterre, France, <http://www.soldatagroup.com>, web-based data and information management system capable of consolidating and processing data from multiple sources.

- GeoViewer by RST Instruments, Coquitlam, BC, Canada
<http://www.rstinstruments.com/GeoViewer%20Real-Time%20Monitoring.html>, data viewer that provides console viewing of large data sets from automatic data acquisition systems.
- HoleBASE by Keynetix Ltd. , Redditch, UK, <http://www.keynetix.com/holebase>, comprehensive data management and borehole logging software package
- HYDSTRA by Kisters AG, www.kisters.net, a data management software package for water resources.
- INSITE by Maxwell Geosystems , Sheung Wan, Hong Kong, <http://www.maxwellgeosystems.com/insite.php>, GIS systems for supervision and monitoring of data in real-time
- iSiteCentral by Geocomp Corporation, Acton, MA, USA, http://www.geocomp.com/field_systems.asp, web-based data management software with data collection, reporting, and alerting capabilities.
- Multilogger Suite by Canary Systems, New London, NH, USA, <http://www.canarysystems.com/multilogger-data-logger-client.html>, application designed to manage automatic data acquisition systems
- SHMlive by RocTest Ltd., <http://www.shmlive.com/>, Saint-Lambert, Quebec, Canada, a web-based, real-time structural monitoring solution for viewing and interpreting data
- Willowstick Technologies, Draper, UT, USA, www.willowstick.com, mapping and monitoring for subsurface water.
- Vista Data Vision by Vista Engineering, <http://www.vistadatavision.com/>, Reykjavik, Iceland, application for data management, visualization, and analyses of field measurements

Listan kan kompletteras med IntelliDAM, <http://intellidam.com/product.html>
Intelligent Data Analysis and Modeling, GlobVision Inc, Canada.

Mätdata samlas i en databas och redovisning kan göras i anpassade diagram och/eller tabeller. Databasen kan ta emot manuellt inmatade data liksom automatiskt insamlade data. Insamlingen och redovisningen kan fungera över Internet. Redovisningen kan göras på ett flertal sätt för att underlätta utvärderingen:

- Mestadels är det lämpligt att redovisa data som funktion av tiden.
- Redovisning av en mätserie kan även göras som funktion av en annan mätserie, t.ex.
 - × Portryck som funktion av magasinsnivån,
 - × Portryck som funktion av tiden och även med underlag av sektioner (kan illustrera oväntade resultat).
- Redovisning av en mätvärden i plan med konturlinjer (kan visa anomanier).

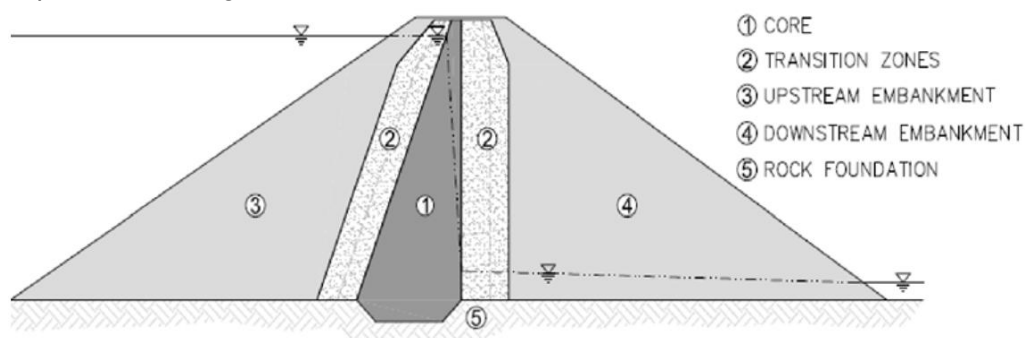
När det är lämpligt kan varsel- och larmvärden läggas in i diagrammen. Varje diagram ska ha som mål förmedla ett särskilt budskap.

2.10 Steg 9 - Tolka och rapportera resultat

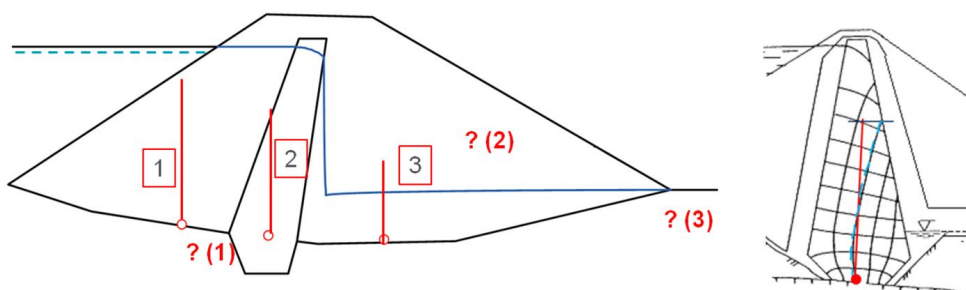
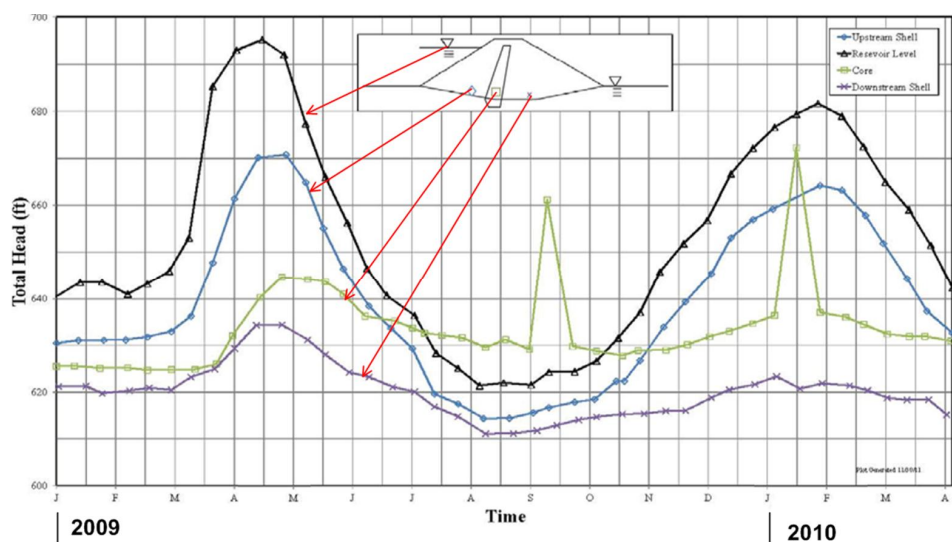
Personal, som tolkar mätdata, behöver förstå hur olika delar i dammen avses att fungera, tänkbara dammbrottsförlopp samt grunden för de varsel- och larmvärden som fastställts för varje instrument. Trender för värdena är ibland viktigare än absolutvärdet och om trenden fortsätter kan varselvärden eller larmvärden överskridas och snabba åtgärder erfordras. Innan åtgärder vidtas

behöver man överväga tänkbara orsaker till trenden och om det är troligt att den fortsätter.

En typisk zonerad fyllningsdamm framgår av Figur 2-1. Dammen instrumenteras vid uppbyggnad med bl.a. tre porttrycksmätare och mätvärdena redovisas dels som funktion av tiden, dels i sektion med värden vid representativa tidpunkter, se Figur 2-2.



Figur 2-1 Typisk zonerad damm



Figur 2-2 Mätvärden från porttrycksmätare redovisade dels som funktion av tiden, dels i sektion med mätvärden vid representativa tidpunkter (i detta fall vid maximal magasinsnivå för år 2009).

Från redovisningen kan följande utvärdering göras:

Porttrycksmätaren i uppströms stödfyllning [1] följer som förväntat magasinsvattenståndet. Givaren visar troligen pålitliga värden.

Porttrycksmätaren i tät kärnan [2] uppvisar viss eftersläpning vilket tyder på att tät kärnan har låg genomsläpplighet. Givaren visar högre tryck än magasinivån under sommaren – tyder på eftersläpning. De båda "spikarna" för [2] indikerar problem med givaren – kan ge larm.

Porttrycksmätaren i nedströms stödfyllning [3] uppvisar högre värden än vad projektören förväntat. Lägre tryck andra året kan bero på den lägre magasinivån andra året, men kan även möjligen tyda på ändrad strömning i stödfyllningen och att genomsläppligheten ökat. Kanske har finmaterial spolats ut. Det behöver undersökas ytterligare.

Grundvattenytan kan vid god funktion antas följa den blå linjen i nedersta vänstra sektionen i Figur 2-2. Vidare kan tryckfallet förväntas ske i tät kärnan, jämför med ett teoretiskt strömnät i en tät kärna till höger i figuren.

- [1] visar att tryckfall finns i uppströms stödfyllning, vilket tyder på att stödfyllningen har liknande täthet som tät kärnan eller att läckage finns.
- [3] visar vattentryck i nedströms stödfyllning. Trycket, som är högre än nivån för dammtån, indikerar att nedströms stödfyllning har dålig dräneringsförmåga.

Mätresultaten i ovanstående exempel ger anledning att klarlägga:

- (1) Finns läckage? Behöver undersökas (om det inte redan mäts)
- (2) Finns vattentryck i nedströms stödfyllning? (mer instrumentering?)
- (3) Erosionsmotstånd vid nedströms dammtån? (behöver tåla läckage)

Varje mätutvärdering behöver dokumenteras i en rapport, som distribueras till berörda personer. Rapporterna arkiveras för att kunna studeras då ny utvärdering görs. Vanligen görs utvärderingar med en frekvens av en gång per år eller när ovanliga händelser inträffar, t.ex. då varselvärden överskrids. I samband med den visuella tillsynen ska mätvärden finnas tillgängliga och den som gör tillsynen ska hålla sig informerad om aktuella nivåer och eventuella händelser som inträffat.

2.11 Steg 10 - Vidta åtgärder

EFTERSOM BEHOVET AV MÄTNINGAR FÖR EN SPECIELL DAMM VARIERAR MED TIDEN ÄR DET VIKTIGT ATT MED JÄMNA MELLANRUM OMVÄRDERA MÄTPROGRAMMET (USSD, 2009).

Varje program för tillståndskontroll bör ha en åtgärdsplan, som ger vägledning för vilka åtgärder som kan vidtas om mätvärden överskrider varselvärden och/eller larmvärden. Åtgärdsplanen bör integreras med beredskapsplanen för dammen. Allteftersom tiden går ökar informationen om hur dammen fungerar, t.ex. blir variationer med årstiderna mer kända. Denna

kompletterande information kan ge anledning att justera angivna varselvärden och/eller larmvärden.

I rapporten beskrivs tillståndsnivåerna GRÖN, GUL och RÖD, där observationer och mätningar är som förväntat till att flera instrument visar värden över larmvärden. Behovet av åtgärder indikeras vid de olika nivåerna. Nivåerna är till hjälp för att avgöra när information ska förmedlas och åtgärder krävs.

Tabell 2- 3 Åtgärdsnivåer i tillståndskontrollen

Tillstånd	Beskrivning	Åtgärd
NORMAL – TILLSTÅND SOM FÖRVÄNTAT		
Normalnivå GRÖN	Observationer och mätningar indikerar förväntade och acceptabla värden	Fortsatt tillsyn, mätningar och underhållsprogram
VARSELNIVÅ – TILLSTÅND SOM AVVIKER FRÅN FÖRVÄNTAT TILLSTÅND		
Varselnivå GUL	En eller flera indikeringar är över förväntad nivå	Bekräfta tillförlitligheten Kontakta utvärderingsgrupp för att besluta om åtgärd Informera berörda parter om förhållandena och rekommendera planer för åtgärder Vidta åtgärder för att minska risken för att indikationerna kommer att överskrida larmnivåer
LARMNIVÅ – TILLSTÅND NÄR ÅTGÄRDER SKA VIDTAS		
Varningsnivå RÖD	En eller flera indikeringar är över larmnivån som upprättats för aktuella instrument	Informera alla parter om risker med att arbeta i påverkat område Genomför åtgärdsplanen Utveckla säkra steg att fortsätta

2.12 Åtgärdsplaner

Alla dammar är unika och har specifika känsligheter för tänkbara dammbrottsförlopp. För varje damm ska ägaren därför ha en åtgärdsplan som kan tillämpas för att minska riskerna, om tillståndskontrollen indikerar att dammen inte fungerar som avsett. Allmänna åtgärder, som är anpassade till varje dammbrottsförlopp, bör identifieras. Åtgärderna för att minska risken för dammbrott kan vara både konstruktionsmässiga och "mjuka".

Exempel på "mjuka" icke konstruktionsförbättrande åtgärder kan vara:

- Sänka magasinsnivån eller minska tiden för hög magasinsnivå.
- Förbereda entreprenörer för att i ett eventuellt nödläge snabbt kunna leverera material, utrustning och personal.
- Förbättra eller öka tillsynen och mätningarna för att upptäcka/ge bevis på försämrade förhållanden.
- Uppdatera beredskapsplanen och översvämningskartorna för att anpassas till ett specifikt dammbrottsförlopp.
- Upprätta specifika förfaranden och kontaktlistor. Träna och varsko personalgrupp för att åstadkomma ett snabbt och effektivt arbete i händelse av försämrade förhållanden eller i ett nödläge.
- Identifiera varsel- och larmnivåer för instrument, som bör initiera omedelbara åtgärder.
- Installera system för tidig varning t.ex. information om överskridande av varsel- och larmnivåer överförs i realtid till driftcentral, peglar installeras uppströms och system införs som ger snabb information om höga inkommande flöden, procedurer tas fram för att meddela varning till nedströms dammägare och räddningstjänster.
- Genomföra underhållsåtgärder som rensning av dräner, förbättringar av utskovsluckors tillförlitlighet t.ex. genom testning.

Exempel på konstruktionsförbättrande åtgärder kan vara:

- Isolera problemområdet genom t.ex. fångdammar runt området.
- Förbättra systemet för läckagemätning.
- Öka utskovskapaciteten genom kompletterande utskov eller sänkning av utskovströskel.
- Anordna nödutskov, t.ex. anordna eroderbara dammdelar.
- Förstärka svaga delar, t.ex. med nedströms stödbankar, uppströms tät mattor (blankets).
- Anordna en vall nedströms, som minskar tryckskillnaden.
- Förbättra erosionsskydd och/eller anordna upplag av reservmassor.
- Ta bort eventuellt drivgods och genomför andra underhållsåtgärder.

2.13 Organisationens kompetens

Behovet att systematiskt utföra tillståndskontroll ökar och detta ställer allt större krav på dammägarens organisation och personalens kompetens. I RIDAS finns motsvarande informationen beskriven i "4. Organisation, kompetens och skriftliga förebilder".

Behovet att utföra tillståndskontroll på en damm är stort och ökar. Tillståndskontroll kan göras inom ett flertal områden, där inspektioner, övervakning och instrumentering är viktiga delar. System för att mäta och samla in information blir alltmer beroende av tekniken. Det finns härigenom ett ökat behov av att överväga följande:

- Underhåll kommer att behöva utföras av ordinarie personal för att komponenter och automatiska insamlingssystem ska fungera. Behövs extra tekniskt stöd från t.ex. konsulter inom dammteknik, kraftförsörjning, kommunikation?
- Kalibrering, underhåll och reparation eller utbyte av icke tillfredsställande fungerande instrument bör ges hög prioritet. Är kostnaderna för detta tillfredsställande budgeterade?
- Finns behov av att genomföra uppgraderingar av givare och insamlingsenheter? Finns bättre komponenter på marknaden, som ger möjlighet till bättre funktion, högre noggrannhet och lägre driftkostnader?
- Bör program tas fram för fortlöpande utbildning, som inriktas mot att hålla den tekniska personalen uppdaterad om förbättrad teknik?

Teknikområdet dammsäkerhet har kommit längre än då alla dammar betraktades som antingen säkra eller som osäkra. Det har blivit accepterat att alla dammar har viss sannolikhet att gå till brott och ge konsekvenser vid ett dammbrott. Vidare finns insikten att inte alla dammbrott orsakas av extrema flöden eller stabilitetsbrott. Dammbrott kan också orsakas av andra scenarier, exempelvis av inre erosion eller överströmning av dammen vid lägre flöden än dimensionerande flödet, i kombination med fel i kontrollsystemet eller svagheter i dammägarens program för tillståndskontroll.

I dagens värld behöver dammägaren ha en ansvarsfull medvetenhet och förvaltning där ledande ingenjörer styr driften. På senare år finns det exempel på dammbrott, där ledningen varit medveten av bristerna men underskattat riskerna. Riskbaserad analytiska metoder ökar möjligheten att bedöma dammsäkerheten. Dessa metoder kan dock inte ersätta, utan behöver användas parallellt med, fackmässiga bedömningar av ingenjörer, entreprenörer och/eller granskningspaneler.

Kompetenskrav för olika kategorier av personal framgår av Tabell 2-4. Budskapet med tabellen är att drift- och underhållspersonal spelar en viktig roll i dammsäkerhetstillsynen, men att de inte kan ersätta tränade damminspektörer och dammtekniskt sakkunniga.

Tabell 2-4 Kunskapsbehov för olika kategorier av personalen

AKTIVITET	DRIFTPERSONAL	UNDERHÅLLS PERSONAL	UTBILDADE INSPEKTÖRER	DAMMTEKNISK SAKKUNNIG
Driftmässig tillsyn, uppmärksamma magasinsnivå, flöde genom utskov, förändringar i driftmönstret	x	x	x	x
Upptäcka förändringar i vegetation, sprickbildning, deformationer, källsprång, uppfuktningar, sjunkhål, erosionsskador, dräner ur funktion, dåligt underhåll, blockering av utskov, allmänna försämringar		x	x	x
Ojämna sättningar, förändringar i linjeföringen, alkalireaktioner, instabila slänter, förändringar i läckageflöde, utrustningsfel, instrumentfel, vittringseffekter			x	x
Utvärdering av tillsynens betydelse ur dammsäkerhetssynpunkt, upptäcka dammbrottsförlopp				x

3 Dammbrottsförlopp och statistik

I detta avsnitt beskrivs dammbrottsförlopp (failure modes) relativt ingående och ges statistik för dammbrott och två dammbrott beskrivs. Det ena dammbrottet orsakades av dåligt underhåll med blockerade utskov och avsaknad av program för tillståndskontroll. Det andra dammbrottet orsakades av överströmning, vilken uppstod på grund av en komplex händelsekedja av samverkande händelser. Händelsekedjan innehåller ett flertal punkter som berör dammägarens organisation och dammbrottet bedöms inte ha inträffat om ägaren hade haft ett genomtänkt och tillämpat program för tillståndskontroll.

Dammbrott definieras som okontrollerat utsläpp av vatten eller annat lagrat material från en damm. När material börjar släppas ut från en damm tenderar utsläppet orsaka att dammen skadas alltmer och utsläppet ökar. Av den anledningen anses allt okontrollerat utsläpp från dammen som ett dammbrott. Det kan noteras att konsekvensen inte är en del av denna definition.

Historiskt sett anses stora dammar ha en låg sannolikhet för brott. Statistik stöder denna tro och den årliga sannolikheten för dammbrott är $2 \cdot 10^{-4}$ för en typisk damm, som är bra projekterad, bra byggd och väl underhållen (Baecher, et.al,1979).

Även om sannolikheten för brott är låg kan noteras att dammbrott fortsätter att inträffa och att denna sannolikhet innebär att ungefär en av hundra dammar som har byggts har gått till brott under sin livstid. Genomsnittliga åldern för dammar i Sverige bedöms vara liknande som för dammar i USA, som antas till ca 50 år. I USA anges att ungefär hälften av dammbrotten för fyllningsdammar skett där dammen dämmer magasin som har volymer som kan orsaka ansemliga översvämningar nedströms.

I Sverige där det finns drygt 200 dammar i konsekvensklass 1 eller 1+ (dvs sannolikheten för dödsfall är inte försumbar och/eller hög sannolikhet för stor ekonomisk skadegörelse) skulle den ovan nämnda sannolikheten innebära att två av dessa dammar statistiskt skulle gå till brott under en 50-årsperiod.

Den största risken för fyllningsdammar anges vara inre erosion, som före dammbrottet varit en mer eller mindre kontinuerlig process där strömmande vatten tagit med sig jordpartiklar alltsedan dammen byggdes. I slutskedet har erosion inträffat i nedströmsslänten tills dammen slutligen kollapsat genom överströmning. De flesta dammbrott av betongdammar anges ha berott på brott i grundläggningen. Dammbrottsförlopp är dock unika för varje damm och tänkbara dammbrottsförlopp, som kan vara många för varje damm, behöver studeras för varje damm för sig.

DAMMBROTT – VARJE HÄNDELSE SOM RESULTERAR I ETT OKONTROLLERAT UTSLÄPP AV LAGRAT MATERIAL, VANLIGEN VATTEN, FRÅN EN DAMM TILL NEDSTRÖMS LIGGANDE OMRÅDEN.

Konsekvenserna av ett dammbrott kan variera från inga till mycket stora. Några typiska konsekvenser kan inkludera följande:

- Dödsfall
- Skador på hem, industrier, infrastruktur etc.
- Skador på miljön
- Hot för andra dammar som ligger nedströms
- Förlust av magasinerat vatten och produktionsförluster
- Förlust av ekonomisk vinning
- Förlust av kapitalinvestering av för dammägaren
- Risk för juridiska anklagelser
- Skada på renommé för ägare, projektör och tillsynsmyndighet
- etc.

EN DAMM KAN UTSÄTTA DESS ÄGARE FÖR ANSENLIGA RISKER.

ETT EFFEKTIVT PROGRAM FÖR TILLSTÅNDSKONTROLL KAN BIDRA TILL ATT REDUCERA OCH HANTERA DESSA RISKER.

Några exempel på dammar som har gått till brott listas i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Dammbrott och orsaker (ASDSO, www.damsafety.org)

Damm	Land	Typ	Bygg-nadsår	Damm brott	Döds-fall	Trolig orsak
Situ Gintung	Indo-nesien	Fyllningsdamm	1933	2009	100+	Överströmning otillräcklig utskovskapacitet
KaLoko	USA	Fyllningsdamm	1890	2006	7 ¹⁾	Överströmning, blockerat utskov, dåligt underhåll
Taum Sauk	USA	Fyllningsdamm	1963	2005	-	Överströmning, instrumenterings fel
Silver Lake	USA	Fyllningsdamm	1945	2003	-	Projekteringsfel
Titon	USA	Fyllningsdamm	1975	1976	11	Inre erosion i tåtkärna och undergrund

1) >\$100 000 000 (US) delvis beroende på otillräckligt program för tillståndskontroll.

DAMMBROTT KAN INTRÄFFA. KONSEKVENSERNA AV ETT DAMMBROTT KAN BLI KATASTROFALA OCH MÅNGA GÅNGER ÖVERSTIGA VÄRDET AV DAMMEN. DAMMSÄKERHETSANSVARIG KAN HÅLLAS PERSONLIG ANSVARIG FÖR KONSEKVENSERNA AV ETT DAMMBROTT. DAMMBROTT KAN ORSAKA DÖDSFALL OCH ÄGAREN AV DAMMEN KAN BLI ÅTALAD.

3.1 Dammbrottsförlopp (Failure Modes)

Dammbrottsförlopp (Failure modes) är en beskrivning av på vilket sätt som en damm kan gå till brott. Förståelsen av hur en specifik damm kan gå till brott är grunden för ett robust program för tillståndskontroll. Dammbrott kan orsakas av extrema belastningar, svagheter i konstruktionen p.g.a. ursprungligt dåligt utförande, brist på underhåll eller åldring i allmänhet. Brott kan dock även orsakas av andra faktorer, t.ex. drivgods som blockerar utskov, översvämning, skred i magasinet, olämplig drift, vandalism eller terrorism, eller kombinationer av olika orsaker.

3.1.1 Fyllningsdammar

Typiska orsaker till brott i fyllningsdammar är:

- Överströmning på grund av otillräcklig utskovskapacitet, blockering av utskov eller stora sättningar i dammkrönet.
- Läckage och inre erosion längs rörgenomföringar genom dammkroppen eller längs övergången till betongkonstruktioner t.ex. anslutande utskov eller liknande.
- Läckage och inre erosion i övergången mellan olika material i dammkroppen eller grundläggningen.
- Utglidningar i branta slänter, t ex i samband med plötslig avsänkning av magasinet. Sprickbildning på grund av ojämna sättningar.

3.1.2 Betongdammar

I motsats till fyllningsdammar kan betongdammar ofta tåla överströmning under flera timmar. Typiska orsaker till brott av betongdammar är:

- Överströmning på grund av otillräcklig utskovskapacitet som resulterat i erosion vid dammtån eller erosion av anslutande bankar av jord.
- Läckage i undergrund eller anslutningar som resulterar i erosion och genomströmning.
- Glidning i snittet mellan betong och undergrund eller i sprickplan i undergrunden.

3.1.3 Exempel på redovisning av dammbrottsförlopp (failure modes)

Dammbrottsförlopp kan beskrivas i text, tabellform och/eller händelsekedjor. Tänkbara dammbrottsförlopp behöver tas fram för att ge underlag till ett program för övervakning av dammsäkerheten. Tänkbara dammbrottsförlopp för en fyllningsdamm bedöms vanligen vara överströmning, inre erosion och

stabilitetsbrott. Överströmning kan, som beskrivs nedan i avsnitt 3.4 för dammbrottet av Taum Sauk, vara en komplex händelsekedja av samverkande händelser.

Ett dammbrott, som initierats av inre erosion, kan också få ett brottförlopp med överströmning av dammkrönet och slutligen en kollaps av dammen. För att få överblick över olika dammbrottsförlopp och kunna bedöma om en damm är speciellt känslig för ett visst dammbrottsförlopp kan positiva och negativa faktorer listas i tabellform. Exempel på en sammanställning för en specifik damm med ett dammbrottsförlopp, som initierats av inre erosion, framgår av Tabell 3-2.

Tabell 3-2 Dammbrott initierat av inre erosion i tåtkärnan

Last	Beskrivning damm	Dammbrottsförlopp	Minskning av risken	Försvårande förhållanden	Förmildrande förhållanden
Normal	Fyllningsdammar med tåtkärna och uppströms och nedströms stödfyllning. Anslutande till utskovsdel av betong i mitten av dammen.	Läckage och inre erosion genom tåtkärnan eller undergrunden. Okontrollerat flöde genom läckagekanaler leder till brott på nedströms stödfyllning och eventuellt överspolning och fullständigt dammbrott.	Överväg att komplettera med en dränering vid nedströms dammtå och stödbank mot nedströms slänten. Ökad driftmåssig tillsyn och mätning av läckage och grumling.	Materialet i tåtkärnan och undergrunden är erosionsbenäget. Tåtkärna och filter ansluter inte till berg. Fribordet är litet. Kort om tid att i ett nödläge lägga ut en stödbank.	Låg tryckskillnad ger låg gradient. Möjlighet att relativt snabbt sänka magasinets. Läckage mäts två gånger per dag.

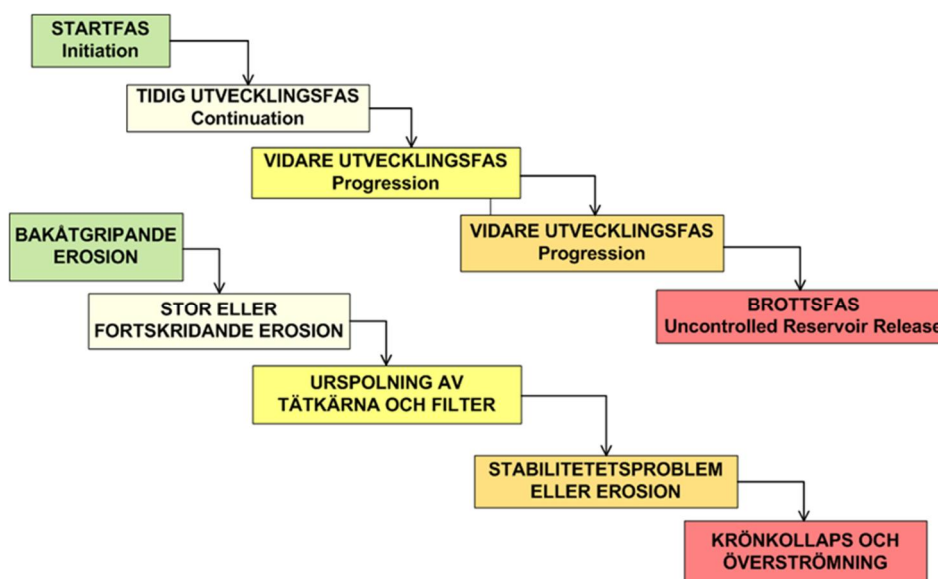
Det är viktigt att förstå hela processen i ett tänkbart dammbrottsförlopp. Detta hjälper till att fastställa den bästa sammansättningen mellan visuell tillsyn och mätningar samt bestämma frekvensen för dessa aktiviteter. En tidig upptäckt gör det ofta möjligt att sätta in förebyggande åtgärder till en mindre kostnad.

Framtagna dammbrottsförlopp behöver integreras i programmet för tillståndskontroll för att detta ska bli effektivt. Följande frågeställningar bör besvaras för varje tänkbart dammbrottsförlopp:

- I vilket skede kan vi genom observationer eller mätningar upptäcka i vilket skede som ett eventuellt brottförlopp befinner sig?
- Kan det tänkbara dammbrottsförloppet upptäckas visuellt innan ett dammbrott inträffar?
- Kan det tänkbara dammbrottsförloppet upptäckas genom instrumentering?
- Hur snabbt kommer det tänkbara dammbrottsförloppet att utvecklas?
- Har personalen som gör inspektioner blivit utbildad i vad han/hon ska söka efter och kan den personen upptäcka det tänkbara dammbrottsförloppet?

- Vilka åtgärder kommer att vidtas om det uppstår en indikation på att dammbrottsförloppet har initierats och utvecklats vidare?
- Kommer det att finnas tid för att genomföra en effektiv åtgärd, då det tänkbara dammbrottsförloppet upptäckts?
- Vilket mätinstrument, om något finns, är lämpligt för att upptäcka det tänkbara dammbrottsförloppet tillräckligt tidigt?
- Vilken specifik visuell observation är användbar för att upptäcka det tänkbara dammbrottsförloppet och hur ofta bör tillsynen genomföras?
- Hur ofta behöver data från instrumenteringen samlas in och utvärderas?
- Hur kommer data från instrumenteringen att samlas in och utvärderas?
- Hur är ansvaret fördelat för att mätning genomförs, samlas in och utvärderas samt hur är personalen utbildad?

Dammbrottsförloppet, som initierats av inre erosion i tåtkärnan, kan få ett brottförlopp med överströmning av dammkrönet och slutligen en kollaps av dammen vilket kan illustreras i en händelsekedja enligt Figur 3-1.



Figur 3-1 Typisk uppbyggnad av ett "dammbrottsförlopp för inre erosion i zonerad fyllningsdamm".

Instrumentering och mätningar behöver vara noggrant planerade och utförda för att uppnå ett definierat mål. Varje instrument behöver ha ett specifikt syfte, som oftast kan vara att upptäcka ett dammbrottsförlopp i ett tidigt skede, men som också kan vara att kontrollera effekten av en åtgärd eller att öka förståelsen för dammens funktion. Om mätinstrumentet inte har ett specifikt syfte bör det inte installeras.

Installation av mätinstrument eller insamling av data medför i sig ingen förbättring av dammsäkerheten, även om instrumenten är noggrant utvalda, placerade och installerade. De mätvärden, som instrumenten ger, behöver

målmedvetet bli insamlade och regelbundet utvärderade genom omsorgfull reducering, tabellering och/eller uppritning.

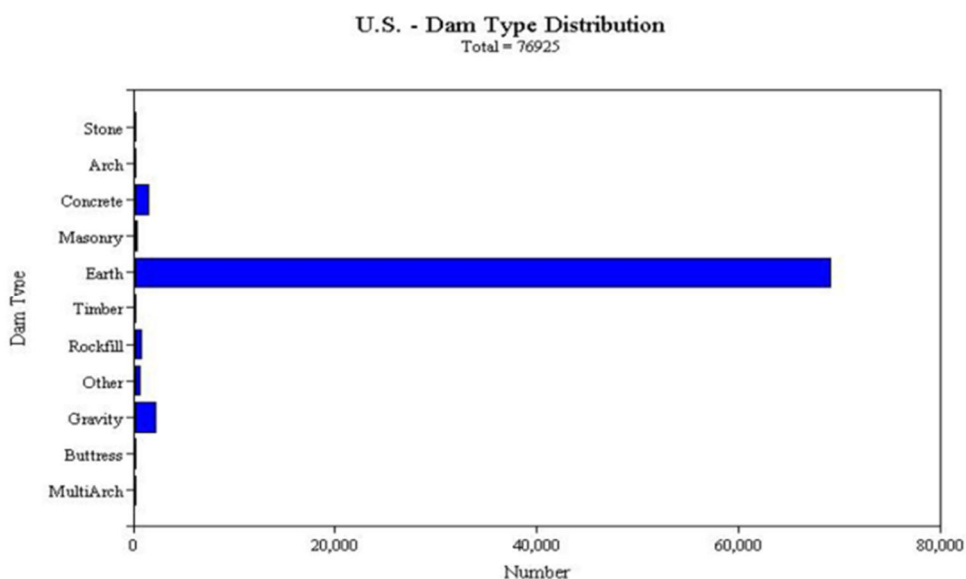
Visuella observationer vid tillsyn bör göras tillsammans med övervakningen med hjälp av instrumenteringen för att på ett tillfredsställande sätt kunna bedöma säkerheten för dammen. De flesta visuella observationerna ger kvalitativ information, medan instrumenteringen ger detaljerad kvantitativ information. Visuella observationer kan ge information om sprickor, förskjutningar, utbuktningar, sättningar, läckage etc. Det är också viktigt att bedöma om observationerna kan upptäcka fysiska förändringar och samband mellan olika iakttagelser.

Ett heltäckande dammsäkerhetsprogram behöver ett detaljerat övervakningsprogram, som innehåller procedurer som medför att data erhålls och är kvalitetssäkrade. Informationen behöver utvärderas i rätt tid och avvikelser blir noggrant undersökta samt att åtgärder bli vidtagna i de fall informationen tyder på att dammen uppträder på ett oacceptabelt sätt.

3.2 Statistik från National Performance of Dams (NPDP)

3.2.1 Underlag

Antal dammar av olika typer framgår av Figur 3-2. Informationen är hämtad från National Performance of Dams Program (NPDP) vid Statford University, som underhåller en databas om dammar i USA fram till år 2007. Databasen innehåller ca 77 000 dammar. Publiceringen av statistiken avslutades 2007. Informationen visar dock att 92 % av de registrerade dammarna är fyllningsdammar, medan endast 3 % är betongdammar. De återstående 5 % av dammarna är uppbyggda av trä eller murblock. Omkring 4 000 av dammarna har klassats som "dammar med markant eller hög risk".

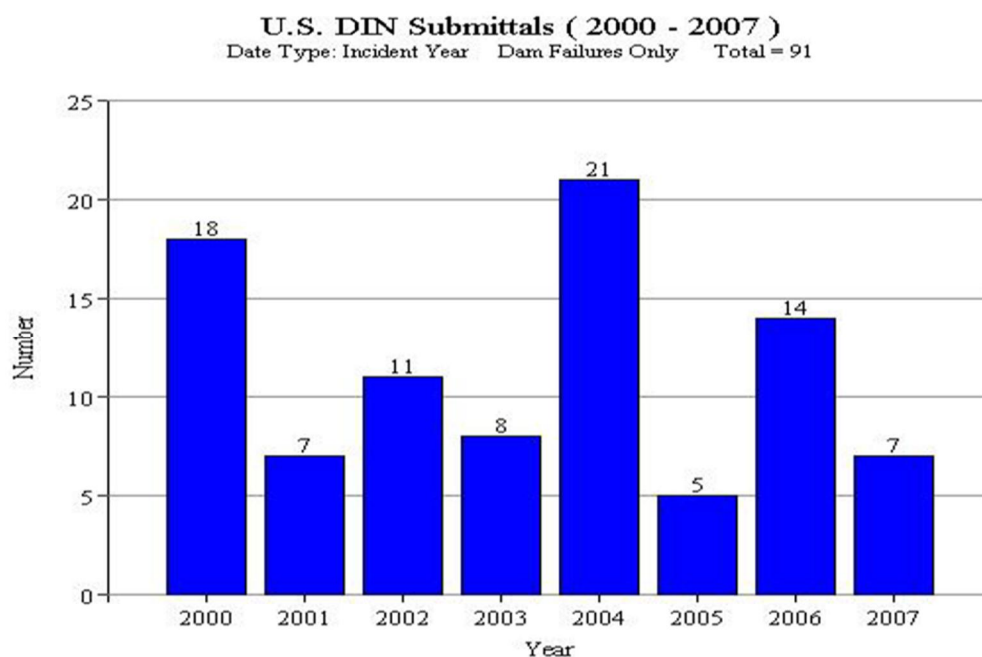


Figur 3-2 77 000 dammar, 92 % Fyllningsdammar, 3 % betongdammar, 5 % övrigt.

Antal dammbrott under de registrerade åren 2000–2007 framgår av Figur 3-3. Totala antal dammbrott under de åtta åren registrerades till 91. Med de 76 927 dammarna, som fanns registrerade, motsvarar detta en årlig dammbrottsfrekvens av $1,5 \cdot 10^{-4}$.

De rapporterade dammbrotten uppvisar att flertalet av brotten är orsakade av en kombination av olika omständigheter; stora belastningar, projekteringsfel, byggnadsfel, åldring, driftfel eller avsiktliga beslut. Nästan alla dammbrott inträffade vid lägre belastning än t.ex. dimensionerande flöde. En lägre belastning i komplexa kombinationer med andra omständigheter visar sig alltså utlösa fler dammbrott än den enstaka mycket extrema tänkbara händelsen. Sambanden mellan belastningar, omständigheter och händelser utgör beskrivningar av "dammbrottsförlopp".

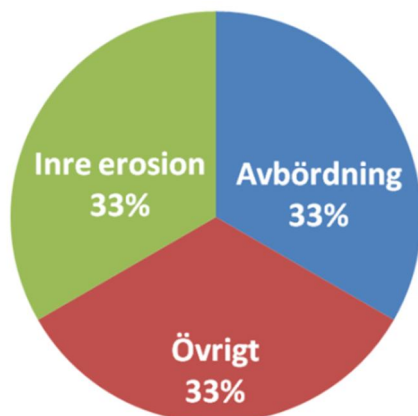
3.2.2 Dammbrott – antal



Figur 3-3 91 dammbrott under en 8-årsperiod - Genomsnittlig årlig sannolikhet för brott inom dammpopulationen blir $1,5 \cdot 10^{-4}$

3.2.3 Dammbrott - orsaker och tidsskeden

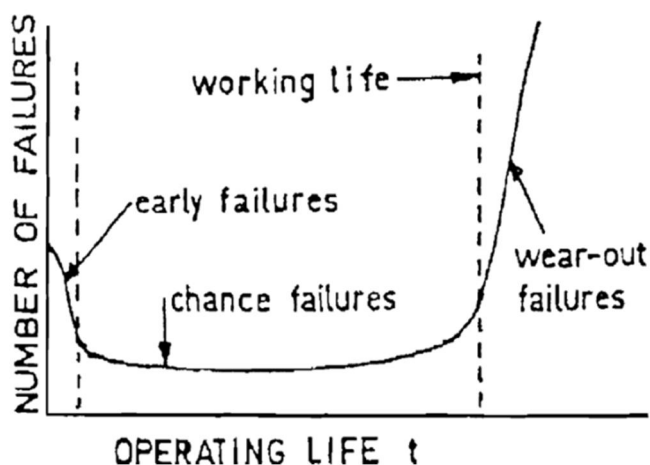
Statistik visar att dammbrott orsakas av otillräcklig avbördningskapacitet, inre erosion i dammkroppen eller övrigt, se Figur 3-4. Vid närmare granskning är dock orsaken, som ovan nämnts, vanligen mer komplex och dammbrottet beror på ett flertal samverkande faktorer som; hög belastning, projekteringsfel, byggfel, åldring och otillräcklig systemsamverkan mellan luckor och kontrollsystem.



Figur 3-4 Initierande orsaker till dammbrott

Analys av mer än 1100 dammbrott och incidenter (ICOLD) visar att en tredjedel av händelserna inträffade under byggnadstiden och inom fem år därefter. 50 % av händelserna hade inträffat inom tio år efter färdigställande.

Antal dammbrott har konstaterats öka då dammarnas ålder är mer än 50-60 år. Ökningen är dock inte lika plötslig som Figur 3-5 visar. Figuren är antagligen hämtad från annat teknikområde, troligen mekanisk industri, där utmattningsbrott plötsligt kan inträffa efter en viss tid.



Figur 3-5 Antal dammbrott i olika skeden; första dämning, drifttid och slutet av drifttiden

ANALYS AV MER ÄN 1 100 DAMMBROTT OCH ALLVARLIGA INCIDENTER INDIKERAR ATT OMKRING EN TREDJEDEL AV HÄNDELSENA INTRÄFFADE UNDER BYGGANDET ELLER INOM FEM ÅR EFTER FÄRDIGSTÄLLANDET. INOM TIO ÅR EFTER FÄRDIGSTÄLLANDET HADE 50 % AV HÄNDELSENA INTRÄFFAT. VIDARE HAR ANTALET DAMMBROTT KONSTATERTS ÖKA DÅ DAMMARNAS ÅLDER ÄR MER ÄN 50-60 ÅR.

3.3 Ka Loko Dam

Ka Loko Dam gick till brott i mars 2006 efter en period med häftiga regn, se Figur 3-6. Dammen byggdes 1890 för att ge vatten till ett sockerbruk. Dammen var 14 m hög och privatägd. Vid den senaste inspektionen klassades den i låg konsekvensklass.



Figur 3-6 Ka Loko Dam – Dammbrott 2006

I mars 2006 regnade det under en längre period och dammen rasade eftersom utskovet var delvis blockerat. Konsekvenserna av dammbrottet blev mycket stora; sju människor dog och skadorna uppskattades till mer än 100 miljoner US-dollar, dvs i storleksordningen en miljard svenska kronor. Ägaren åtalades på sju punkter, men blev senare frikänd. Dammbrottet uppgavs vara orsakat av dåligt underhåll och avsaknad av program för tillståndskontroll.

3.4 Taum Sauk

Magasinet till pumpkraftverket Taum Sauk rasade år 2005 och orsakade stora kostnader för ägaren, men lyckligtvis inträffade inga dödsfall. En rapport anger att brottet var orsakat av en plötslig ökning av grundvattenytan i dammens stödfyllning av sprängsten. Ökningen orsakades av att en stödmur längs dammkrönet överströmmades. Rapporten identifierar också att dammbrottet i första hand orsakades av att instrumenteringen inte fungerade som avsett och att instrumenteringen inte getts tillräcklig uppmärksamhet vid projekteringen, driften och underhållet av dammen.

En annan rapport anger att dammbrottet orsakades av erosion på grund av att stödmuren på dammkrönet överströmmades och att muren underminerades.

Ur teknisk synpunkt ger rapporterna en klar bild av vad som hänt, men de ger inte en klar bild av hur olika händelser samverkat och gemensamt slutligen orsakat dammbrottet. Överströmningen av stödmuren var inte orsakad av en enstaka händelse utan en komplex händelsekedja av samverkande händelser; beslut under projekteringen, under driften och beslut som dammägaren fattade i samband med utvecklingen av dammbrottet. Till exempel noterades efteråt att driftpersonalen beslutat att sänka den maximala tillåtna vattennivån på grund av att överkanten på muren längs dammkrönet hade fått sättningar. Denna information hade dock inte kommit fram till konsulten, som monterade in peglar och instrument för nivåregleringen. Vidare konstateras att, om ett annat beslut hade fattats under projekteringen om behovet av utskov, behovet av kontroll av instrumenteringen och behov av fribord, hade dammbrottet aldrig inträffat.



Figur 3-7 Taum Sauk Dam före och efter dammbrottet 2005. Nedre raden illustration av överströmning och en fullständig ombyggnad med en damm uppbyggd med vältbetong.

Vid Taum Sauk Dam samverkade flera faktorer och om följande punkter hade följts hade dammbrottet aldrig inträffat:

- om ett utskov hade byggts
- om instrumenteringen hade placerats långt från in- och utloppet
- om en stödmur längs krönet inte beslutats bli byggd
- om inloppet/utloppet inte hade bildat en virvel, som sänkte vattennivån lokalt
- om stödfyllningen inte byggts av opackad sprängsten med stor mängd finmaterial
- om PVC-rör inte använts för kablar till mätinstrumenten för nivåmätningen av magasinet
- om information inte hade "försvunnit" inom dammägarens organisation
- om nödläget för magasinet inte hade satts alltför högt och olika system för mätningen inte installerats i serie
- om ägaren hade haft ett genomtänkt och tillämpat program för tillståndskontroll.

Ovanstående information är, förutom från DSIG:s rapport, hämtad från: *"Dams as systems – A holistic approach to dam safety, by Patric J. Regan, Regional Engineer, Federal Energy Regulatory Commission – Division of dam safety and Inspections, Portland, patrick.regan@ferc.gov"*.

4 Exempel – Omfattning av tillståndskontroll

Omfattning av instrumenteringen och frekvens för insamling av mätvärden ges i detta avsnitt främst för fyllningsdammar. Omfattningen anpassas till konsekvensklassen för dammen och till tänkbara dammbrottsförlopp. Informationen integreras med iakttagelser från inspektioner och normal frekvens för dessa anges.

Motsvarande information ges för fyllningsdammar i RIDAS Tillämpningsvägledning avsnitt 7.2.4. Omfattningen av instrumenteringen anges i RIDAS för normala förhållanden (basinstrumenteringen) baserat på konsekvensklass. Vidare anges i RIDAS att kompletterande instrumentering bör finnas för dammar som uppvisar speciella svagheter.

4.1 Omfattning

Inspektioner, övervakning och instrumentering är integrerade delar av tillståndskontrollen.

Frekvensen för att genomföra visuella observationer beror på typ av damm, konsekvenserna av ett dammbrott och om åtgärdsnivån för tillståndskontrollen avviker från "normal grön nivå". En visuell inspektion bör genomföras för varje damm, när någon rapport erhålls om oväntade eller ovanliga förhållanden för dammen.

Vägledning för att bestämma frekvens för den regelbundna tillsynen med inspektion för en damm framgår av Tabell 4-1. Det bör observeras att de angivna frekvenserna bara är en vägledning och att frekvensen bör anpassas till varje damm, som ska betraktas som unik. "Extra" inspektion och mätningar bör vanligen göras efter extrema händelser, som t.ex. flöde med 25 års återkomsttid eller mera. Vidare behöver frekvensen ökas om åtgärdsnivån ökas till "gul" eller "röd" nivå av annan anledning. De angivna konsekvensklasserna "Låg", "Mellan" och "Hög" kan i stort sett antas motsvara vad RIDAS anger som "3", "2" och "1 och 1+".

Tabell 4-1 Frekvens för inspektion av utbildad inspektör och dammätningar

Konsekvensklass	Åtgärdsnivå "Normal grön nivå"
"Låg" antas motsvara "3 enligt RIDAS 2012"	Inspektion görs en gång per år vid period med maximal magasinsnivå. Sällan övervakad med instrument. Avvägningar av punkter längs dammkrönet bör dock göras årligen.
"Mellan" antas motsvara "2 enligt RIDAS 2012"	Inspektioner görs en gång per halvår och magasinsnivån övervakas. Instrumenteras med instrument för utvalda dammbrottsförlopp. Vanligen manuella avläsningar minst en gång per halvår. Inmätning i plan och nivå görs årligen av punkter längs dammkrönet.

"Hög" antas motsvara "1 och 1+" enligt RIDAS	Inspektion görs en gång per kvartal. Magasinsnivån övervakas. Inmätning av punkter längs dammkrönet i plan och nivå görs ett par gånger per år. Utvalda dammbrottsförlopp övervakas med instrumentering, som avläses automatiskt. Väderstation installeras och, om praktiskt rimligt, installeras videokameror.
--	--

4.2 Dammar med "små" konsekvenser

Dammar med små konsekvenser vid åtgärdsnivå "normal" är oftast inte instrumenterade, se Tabell 4-1. Kostnaderna för att installera, mäta, underhålla och utvärdera mätningarna är antagligen i motsvarande nivå som värdet övervakningen skulle ge. Typiska tillsynsprogram innehåller vanligen periodiska årliga visuella inspektioner med fotografering. Kompletterande inspektion bör göras under t.ex. kraftiga flöden eller stormar som är större än 25-årshändelsen. Avvägningar av eventuella sättningar bör dock göras årligen av punkter längs dammkrönet.

Tänkbara dammbrottsförlopp bedöms vanligen vara överströmning, inre erosion eller möjligen totalstabiliteten. Det normala tillsynsprogrammet innehåller visuell inspektion för att notera tillståndet för utskovsanordning, sprickor, utglidningar, våta partier på nedströmsslänten och nedströms dammtå samt eventuella oregelbundna sättningar av dammkrönet.

4.3 Dammar med "mellanstora" konsekvenser

Dammar med mellanstora konsekvenser bör typiskt instrumenteras i huvudsektionen av dammen för att ge indikationer på att dammen fungerar som förväntat. Instrumenteringen bör övervaka dammbrottsförlopp, som skulle kunna utvecklas. Instrumenteringen kan utökas med kompletterande instrumentering för att övervaka eventuella avvikelser som noterats under drifttiden.

Tänkbara dammbrottsförlopp bedöms vanligen vara överströmning, inre erosion och brister i totalstabiliteten. Det normala tillsynsprogrammet innehåller minst årlig visuell inspektion för att kontrollera tillståndet för utskovsanordningarna och titta efter sprickor, utglidningar, våta partier på nedströmsslänten och nedströms dammtå och oregelbundna sättningar av dammkrönet.

Basinstrumenteringen bör innehålla följande:

- Mätning av magasinsnivån för att varna om den överstiger förväntad nivå.
- Läckagemätning, om det är praktiskt rimligt.
- Punkter längs dammkrönet för inmätning i plan och nivå. Vid behov kan dessa kompletteras med en inklinometer för att detektera tidiga stadier av instabilitet.
- Porttrycksmätning i nedströmsfilter, stödfyllning och grundläggning som mäts minst månadsvis för att ge indikation på att dränen fungerar som avsett i nedströmsdelen av dammen och dess grundläggning.

4.4 Dammar med "stora" konsekvenser

Dammar med stora konsekvenser vid dammbrott bör ha instrumentering på plats för att mäta alla tänkbara dammbrottsförlopp, som kan inträffa på dammen. Instrumenteringen bör utformas för att i ett tidigt skede ge indikationer på om något av de tänkbara dammbrottsförloppen håller på att utbilda.

Normalt ska flera typiska sektioner av dammen instrumenteras och övertaliga instrument installeras i nyckelsektioner för att ge redundans.

Tänkbara dammbrottsförlopp för en fyllningsdamm bedöms vanligen vara överströmning, inre erosion och stabilitetsbrott. Det normala tillsynsprogrammet innehåller visuell inspektion minst fyra gånger per år för att kontrollera tillståndet för utskovsanordningar och på en fyllningsdamm notera eventuella sprickor, utglidningar, våta partier på nedströmsslänten och nedströms dammtå samt oregelbundna sättningar av dammkrönet.

Basinstrumenteringen bör innehålla följande:

- Peglar för att mäta nivåer för magasinet och nedströmsvattenytan.
- Läckagemätning om det är praktiskt rimligt.
- Punkter längs dammkrönet för inmätning i plan och nivå. Vid behov kan dessa kompletteras med en inklinometer för att detektera tidiga stadier av instabilitet.
- Porttrycksmätning i nedströmsfilter, stödfyllning och grundläggning, som mäts minst månadsvis för att ge indikation på att dränen fungerar som avsett i nedströmsdelen av dammen och dess grundläggning.

Vidare kan det finnas behov av kompletterande instrumentering beroende på osäkerheter i konstruktionen och/eller på grund av svagheter som konstaterats under driftperioden. För betongdammar med stora konsekvenser kan t.ex. tillkomma sprickmätning av aktiva sprickor.

För dammar, som har stora konsekvenser, bör instrumenteringen för tänkbara dammbrottsförlopp vara automatiserad och mätvärdena överförs till driftcentral med möjlighet att i princip kontinuerligt övervaka varsel- och larmvärden. Om varsel- eller larmnivå vid något tillfälle överskrids ska åtgärder genomföras omgående, se avsnitt 2.12 Åtgärdsplaner. Vid denna åtgärdsnivå ska data från instrumentering inhämtas som underlag för utvärdering en gång per dygn eller oftare. Frekvensen för insamling och utvärdering ska vara tillräckligt hög för att underlag i tid ska erhållas för beslut om ytterligare åtgärder för att förhindra att dammen går till brott.

5 Exempel - Riskanalys som verktyg för att motivera tillståndskontroll

5.1 Orientering

Exempel på ingenjörsmässiga skäl att genomföra tillståndskontroll med mätningar är:

- Indikera eventuellt hotande dammbrott
- Ge varning vid oacceptabla händelser
- Upptäcka okända förhållanden
- Kontrollera krisiska konstruktionsantaganden
- Kontrollera entreprenörers metoder vid byggande
- Kontrollera driften för att undvika t.ex. överbelastningar
- Ta fram åtgärdsalternativ för att åtgärda avvikelser
- Uppfylla bestämmelser och riktlinjer
- Visa att dammen fungerar som planerat

Historiskt har det visat sig att dammägare ibland har svårt att motivera ett ökat behov av övervakning och instrumentering. I detta avsnitt görs därför en ansats till att kvantifiera fördelarna. Trots att metoden inte är noggrann är den vanligen tillräcklig för att visa att ett övervakningsprogram är värdefullt i många situationer. Den föreslagna metoden bygger mycket på subjektiva antaganden och riskanalys och har i ökande omfattning använts av USACE, USBR and FERC.

Ett exempel ges på en riskanalys, där den finansiella risken kostnadsberäknas dels för dammen före genomförande av åtgärder och instrumentering, dels för dammen efter det att övervakningsprogram tagits i drift och de åtgärder genomförts som bedöms nödvändiga på grundval av underlag från installerad instrumentering.

Vid beräkningarna har använts den generella formeln att den totala risken är summan av sannolikheten för varje risk multiplicerat med kostnaden för konsekvenserna om händelsen skulle inträffa.

$$\text{Risk} = (\text{sannolikheten för dammbrott}) \times (\text{kostnaden för konsekvenserna av dammbrott})$$

Den enklaste formen för att kvantifiera fördelarna med instrumentering är att uppskatta minskningen av förväntad risk enligt följande lista:

1. Bestäm alla tänkbara dammbrottsförlopp.
2. Uppskatta sannolikheten för varje händelse under den aktuella perioden.
3. Definiera konsekvenserna för varje händelse och uppskatta den tänkbara kostnaden för varje händelse.
4. Uppskatta risken för varje händelse med hjälp av sannolikheten gånger konsekvensen.
5. Uppskatta minskningen av sannolikheten för varje händelse om ett effektivt program för tillståndskontroll används.
6. Uppskatta kostnaderna för varje händelse om ett effektivt program för tillståndskontroll används.
7. Beräkna den minskade risken för varje händelse om ett effektivt program för tillståndskontroll används.
8. Summera de förväntade minskningarna av riskerna vid användning av ett effektivt dammsäkerhetsprogram.
9. Uppskatta den totala kostnaderna för ett effektivt dammsäkerhetsprogram.
10. Så länge som kostnaderna för dammsäkerhetsprogrammet bara är en mycket liten del av den uppskattade minskningen av risken är dammsäkerhetsprogrammet värt att genomföra.

5.2 Exempel

Redovisningen i det följande är endast gjort översiktlig för att visa principen. De angivna sannolikheterna är uppskattade med ledning av överväganden i separata utredningar som inte är redovisade nedan.

Nuvarande förhållanden

- Damm byggt på 1930-talet
- Hydrauliskt (pumpad) utfyllning av tät kärnan med morän
- Låg densitet
- Linser av grövre material
- Känslig för jordbävningar
- Stödfyllning ändtippad utan packning

Noteringar de senaste 5 åren:

- Bottenutskovet har slutat att fungera
- Källsprång har uppkommit på nedströmsslänten
- Delar av krönet har fått 20 mm sättning

Tabell 5-1 Tänkbara dammbrottsförlopp, sannolikheter för att de ska inträffa och tänkbara motåtgärder

Tänkbara dammbrottsförlopp	Konsekvenser	Sannolikhet att det inträffar	Tänkbara motåtgärder
Sprickbildning i tåtkärnan på grund av sättningar i undergrunden (utlösning av kalksten) leder till läckage i sprickorna, inre erosion, dammbrott.	Totalt dammbrott	0,2 % per år ¹⁾	Injektering av undergrunden och fyllning av håligheter för att stoppa sättningarna (\$30M)
Större skred utlöst på grund av jordbävning	Totalt dammbrott	5 % inom 50 år om det finns högt portryck i nedströms stödfyllning, annars 0,5 % inom 50 år ²⁾	Större åtgärd med att dränera och flacka ut nedströms stödfyllning (\$20M)
Skred längs dammtån orsakade av högt portryck på grund av stort läckage	Totalt dammbrott	1 % per år om högt portryck finns och mycket lågt om inget tryck finns.	Injektering av undergrunden och fyllning av håligheter för att stoppa sättningarna (\$13M)
Inre erosion i grundläggningen orsakad av högt portryck	Okontrollerat läckage	1 % per år om det finns högt portryck i undergrunden; annars 0,01 % per år om inget portryck finns	Installation av injekteringsskärm och dräneringsbrunnar vid nedströms dammtå (\$8M)
Överströmning på grund av extremt inflöde	Totalt dammbrott	5 % på 100 år (0,05 % årligen)	Ny beräkning av dimensionerande flöde

Note 1: Baserat på analys av händelseförlopp och subjektiva uppskattningar

Note 2: Baserat på USGS dimensionerande jordbävning är 50% sannolikhet att dammen då går till brott

Antag att konsekvenserna av ett dammbrott är:

- \$500,000,000 nedströmskostnader
- 100 liv om ingen varningstid uppstår
- 1 liv om tidig varning finns
- \$10,000,000 i rättsliga kostnader
- \$50,000,000 i förlorat värde av anläggningen
- Försämrat rykte - inte kvantifierat

Tabell 5-2 Finansiell risk för nuvarande förhållanden

Händelse	Årlig sannolikhet att det inträffar	Finansiella konsekvenser	Tänkbar finansiell risk	Antal liv i fara	Tänkbar risk av döda
Jordbävning	0,001	\$ 560 000 000	\$ 560 000	100	0,1
Sprickbildning	0,002	\$ 560 000 000	\$ 1 120 000	100	0,2
Skred	0,01	\$ 560 000 000	\$ 5 600 000	100	1
Inre erosion	0,01	\$ 560 000 000	\$ 5 600 000	100	1
Överströmning	0,0005	\$ 560 000 000	\$ 280 000	100	0,05
Total	0,0235		\$ 13 160 000		2,35

Förhållanden med instrumentering

Om instrumenteringen visar höga portryck görs åtgärder för att minska riskerna. Det bedömdes bl.a. att riskerna för skred och inre erosion kan minskas med en 10-potens. Utredarna bedömde också att det vara stor sannolikhet att instrumenteringen skulle visa att portrycken i nedströms stödfyllning var låga. Detta medförde att även sannolikheten för att jordbävning skulle medföra risker också bedömdes kunna minskas med en 10-potens.

Tabell 5-3 Tänkbar risk vid förbättrade förhållanden och ytterligare information

Händelse	Årlig sannolikhet att det inträffar	Finansiella konsekvenser	Tänkbar finansiell risk	Antal liv i fara	Tänkbar risk av döda
Jordbävning	0,0001	\$ 560 000 000	\$ 56 000	100	0,01
Sprickbildning	5,00E-05	\$ 560 000 000	\$ 28 000	100	0,005
Skred	0,001	\$ 560 000 000	\$ 560 000	100	0,1
Inre erosion	0,0001	\$ 560 000 000	\$ 56 000	100	0,01
Överströmning	0,0005	\$ 560 000 000	\$ 280 000	100	0,05
Total	0,00175		\$ 980 000		0,175

Analys

I exemplet framgår att "tänkbara finansiella risken" minskat till ca 1 M\$, dvs en minskning till en trettandedel. Då kostnaden för att arrangera dammsäkerhetsprogrammet endast är en bråkdel av den finansiella riskminskningen är programmet motiverat. Årliga sannolikheten för skred ($1 \cdot 10^{-3}$) även efter eventuella åtgärder utgör den högsta tänkbara finansiella risken. I detta fall visar det sig också att det inte var effektivt att prioritera utökad avbördningskapacitet trots att risken bedömdes vara $5 \cdot 10^{-4}$ per år. Tänkbara finansiella risken för överströmning har angivits till \$280 000 både före och efter förbättrade förhållanden och den risken har i ovanstående tabeller angivits vara ungefär hälften så hög som risken för skred.

6 Författarens egna reflektioner

Denna rapport visar att det finns ett stort behov att systematiskt utföra tillståndskontroll där driftmässig tillsyn och hantering av mätdata är en viktig del.

Vid framtagning av program för tillståndskontroll enligt principer redovisade ovan bedöms att detta i flera fall utgör en utökning av den praxis som finns i Sverige och den tillämpningsvägledning som finns i RIDAS.

Omfattningen av instrumenteringen bedöms dock bli i huvudsak liknande den som indikeras som basinstrumentering i RIDAS tillämpningsvägledning. I den sammanfattade DSIG-rapporten eftersträvas dock markant mer underlag för att bestämma omfattning och utformning av instrumenteringen. Programmet för tillståndskontroll kan härigenom antas bli mer optimerat och bättre anpassat till att minska risken för dammbrott.

I RIDAS finns inga rekommendationer om val av analysstöd och t.ex. data-program. De större dammägarna har valt olika program för att presentera mätvärden. Program från t.ex. Conwide används. Ett stort behov bedöms föreligga och en stor arbetsinsats erfordras för att bygga upp och ta i drift mer anpassade program för att dokumentera och utvärdera mätdata från dammar.

Med stöd av rapporten förväntas följande utveckling:

- Mer fokus på riskanalytiskt tänkande – och dammsäkerhetsprogram.
- Mer integrering av inspektioner och resultat från instrumenteringen.
- Mera fokus på dammbrottsförlopp för att ge omfattning och typ av instrument och dess placeringar.
- Situationsanalyser som underlag för instrumenteringsprogram.
- Analys och presentation med anpassade analysstöd för dammar, där resultat redovisas på ett flertal sätt och även i sektioner för att härigenom lättare kunna utvärderas.
- Varselvärden och larmvärden definieras för alla instrument och mätningar.
- Fler utvärderingar, prioriteringar och anläggnings specifika anpassningar till varje enskild damm (som bör betraktas som unik).
- Mer utbildning av alla personalkategorier i organisationen och inom alla teknikområden, som behöver vara representerade i gruppen av personal som upprättar program för tillståndskontroll, gör utvärderingar och håller programmen uppdaterade.



ELFORSK

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