



VASO dammkommittés rapport nr 15

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

FYLLNINGSDAMMARS FÖRMÅGA ATT TÅLA ÖVERDÄMNING

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 15

**Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer**

FYLLNINGSDAMMARS FÖRMÅGA ATT TÅLA ÖVERDÄMNING

**Åke Nilsson, VBB Anläggning AB
Roy Nilsson, Vattenfall Hydropower AB**

Omslagsfoto: Bengt Johansson, Vattenfall
Grafisk form: Fras&Form
Tryck: Spånga Tryckeri AB 1995
ISSN 1400-7827

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
SUMMARY	iii
1. ORIENTERING	1
2. BAKGRUND	2
3. FRÅGESTÄLLNING	3
4. SÄKERHETSBETRAKTELSE	4
5. SKADERISKER VID OLIKA ÖVERDÄMNINGSGRADER	5
5.1. Allmänt	5
5.2. Ytlig erosion i dammens uppströmsslänt och krön	5
5.3. Läckage och erosion i dammkrönet	6
5.4. Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden	7
5.5. Erosion vid dammtån	7
5.6. Stabilitet hos nedströmsslänten	8
6. FAKTORER SOM PÅVERKAR ÖVERDÄMNINGSFÖRMÅGAN	10
7. MÖJLIGHETER TILL ATT KUNNA ÖVERDÄMMA TILL TÄTKÄRNANS ÖVERYTA ELLER OVANPÅLIGGANDE FILTERS ÖVERYTA	11
8. FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER FÖR ATT SÄKERSTÄLLA ÖNSKAD ÖVERDÄMNINGSFÖRMÅGA	12
9. REFERENSER	14
10. BILAGA	15

FÖRORD

Vattenkraftutbyggnaden och därmed byggande av stora dammar startade i stor skala i Sverige efter andra världskriget och var mest omfattande under 50- och 60-talen.

Principerna för utformning och konstruktion av dammanläggningarna under denna intensiva utbyggnadsperiod äger i huvudsak sin giltighet fortfarande.

Vad avser krav på utskovens avbördningsförmåga har dessa föreslagits av dammägarna och (efter eventuella justeringar) fastställts av vattendomstol med SMHI som sakkunnig. Kriterierna i detta avseende kan därför sägas ha etablerats gemensamt av dammägarna och SMHI.

Under 1980-talet ifrågasattes i Sverige, såsom tidigare skett i många andra länder, de etablerade principerna för utskovsdimensionering. Flödeskommittén, som tillsattes av kraftindustrin och SMHI för att utreda flödesriskerna, föreslog i sin slutrapport ett nytt sätt att beräkna dimensionerande tillrinning. Kriterierna innebär att dammar med allvarliga brottkonsekvenser skall kunna klara ett påtagligt högre tillflöde än vad man tidigare räknat med.

För att på ett säkert och kostnadseffektivt sätt kunna anpassa dammbeståndet till de nya kraven har ett stort antal utredningar och utvecklingsprojekt genomförts. Dessa projekt har genomförts på uppdrag av VASO dammkommitté, som är kraftindustrins gemensamma organ i dammsäkerhetsfrågor och bland annat har till uppgift att samordna dammarnas anpassning till de nya riktlinjerna. Den styrgrupp som lett arbetet har bestått av Harald Eriksson – Sydkraft, som varit ordförande, Sten Lasu – Svenska Kraftverksföreningen, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen samt Malte Cederström och Urban Norstedt – Vattenfall.

För varje projekt finns en rapport och därtill finns en sammanfattande rapport över hela arbetet, huvudrapporten (nr 1), vilken även innehåller en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Föreliggande projekt har genomförts av Åke Nilsson, VBB Anläggning AB i samverkan med Roy Nilsson, Vattenfall Hydropower AB. Beställarens styrgrupp har bestått av Åke Engström, Gullspångs Kraft AB och Urban Norstedt, Vattenfall Vattenkraft.

Studien har syftat till att belysa de tekniskt svagaste punkterna, som måste beaktas vid analys av en fyllningsdamms tekniskt säkra överdämningsnivå, samt att ge en vägledning hur en sådan analys kan gå till. Som ytterligare hjälp har arbetssättet tillämpats på två specifika dammanläggningar.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

I de fall där utskovskapaciteten vid dämningensgränsen är lägre än dimensionerande tillrinning medger Flödeskommitténs riktlinjer att överdämning, dvs dämning till vattenstånd högre än fastställd dämningensgräns, får utnyttjas i extrema fall för att förhindra dammbrott av nedströms belägen damm. Överdämning får dock inte göras så att den egna dammens bestånd äventyras.

Vid flertalet anläggningar finns följande gemensamma kritiska punkter som kan vara dimensionerande för överdämningsförmågan:

- Uppspolning av vågor.
- Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden.
- Läckage och erosion i dammkrönet.
- Erosion vid dammtån.
- Stabilitet hos nedströmsslänten.

I föreliggande rapport behandlas ovanstående skaderisker var för sig. Vidare ges exempel på uppskattning av erosionsmotståndet vid dammtån. Slutligen ges exempel på förstärkningsåtgärder, som kan vara aktuella för att säkerställa önskad överdämningsförmåga.

Erfarenheter från bestämningar av överdämningsförmågan, för befintliga dammar där ovanstående skaderisker studerats, visar att även andra faktorer kan bli avgörande för överdämningsförmågan och erforderligt fribord på dammen. Vid överdämning finns kritiska punkter, som beror på dammens konstruktion och kondition, som är unika för varje anläggning. Exempel på sådana belastningar och faktorer kan nämnas följande:

- Dammkrönets nivå, erosionsskydd och/eller dammsektion överensstämmer inte med vad som anges på byggnadsritningarna antingen på grund av att sättningar inträffat eller på att dammen aldrig byggdes som ritningarna visar. Relationsritningar finns sällan upprättade.
- Belastningsfallet med en extrem vind då magasinet ligger på dämningensgränsen kräver större fribord än belastningsfallet överdämning i samband med dimensionerande flöde och den vindhastighet som man enligt flödeskommitténs tillägg till riktlinjerna skall räkna med vid ett sådant tillfälle.
- Svagheter, t ex onormalt läckage, som redan finns i dammen då magasinsnivån ligger vid dämningensgränsen, medför att ytterligare belastningar i form av överdämning inte kan tillåtas utan föregående undersökningar och eventuella förstärkningar.

Ovanstående erfarenheter visar att för att kunna bestämma överdämningsförmågan för en damm behövs en noggrann kännedom om hur dammen verkligen är byggd och i många fall blir det nödvändigt med relativt omfattande arkivsökningar i kombination med fältundersökningar för att t ex upprätta relationsritningar och bestämma egenskaperna hos ingående material i dammkrönet.

SUMMARY

The new guidelines on design flood determination permit levels higher than the prescribed retention level in extreme cases where temporary flood surcharges are required in order to prevent the rupture of a dam located downstream. However, the dam itself must not suffer severe damage, which could jeopardize the retention of the reservoir.

The following critical points, common to most of the plants, may determine the maximum allowable water level:

- The effect of waves.
- Internal erosion in the body of the dam or the foundation.
- Seepage and erosion in the crest of the dam.
- Erosion at the toe of the dam.
- The stability of the downstream slope.

This report deals with each of the above points in turn. Examples regarding estimations of erosion resistance at the dam toe are also presented. Finally, the report presents examples of reinforcement measures which may be necessary to secure the desired water level above the normal retention level.

Experiences from studying existing dams show that in many cases there are other factors which also influence upon the required freeboard and the possibilities to allow water levels above the normal retention level. These critical points and loading conditions are unique for each individual plant and depend on the design and condition of the dam in question. The following are examples of such factors:

- The erosion protection, the level of the crest of the dam and/or the zoning of the dam may not have been constructed as shown on the "construction drawings", and in many cases as "built drawings" are not available.
- Existing weaknesses, e.g. unexpected high seepage already at the normal retention levels, may require investigations and possibly remedial measures before additional loads from water levels above the normal retention water level can be considered.

The above experiences show that an in-depth knowledge of the dam is required before the maximum allowable water level can be determined. This may result in an extensive search in archives. Field investigations will also be necessary in many cases to determine how the dam is really constructed and the characteristics of the different materials in the crest of the dam.

1. ORIENTERING

Denna studie som finansierats av VASO dammkommitté behandlar tekniska möjligheter till säker överdämning mot fyllningsdammar innehåller följande tre delar:

Del I Generell studie

Del II Seitevaredammarna

Del III Fyllningsdammar i Sveg

I föreliggande rapport redovisas Del I, som allmänt beskriver olika skaderisker i samband med överdämning. Rapporten har utarbetats gemensamt av Roy Nilsson, Vattenfall Hydro-power AB, och Åke Nilsson, VBB Anläggning AB.

Del II och III beskriver två praktikfall där överdämningsförmågan bedömts för en anläggning med stenfyllningsdammar respektive en med jordfyllningsdammar. Roy Nilsson har studerat Seitevaredammarna, medan Åke Nilsson studerat fyllningsdammar i Sveg. Dessa båda rapporter redovisas inte i denna rapportserie.

Till projektet har funnits en styrgrupp bestående av Åke Engström, Gullspånga Kraft AB, och Harald Eriksson, Sydkraft samt Urban Norstedt, Vattenfall.

2. BAKGRUND

På samma sätt som i många andra länder har vi i Sverige omvärderat tidigare metoder att bestämma dimensionerande flöden för dammanläggningar. Kraftindustrin och SMHI har genom arbetet i Flödeskommittén enats om nya riktlinjer för denna dimensionering, jämför ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar”, daterad i maj 1990, [1], (i det följande benämnda FLKs riktlinjer).

FLKs riktlinjer medför att betydligt högre tillflöden än vad som tidigare förutsetts skall kunna hanteras med acceptabel säkerhet. Tillämpningen av riktlinjerna kommer i många fall att innebära att olika typer av åtgärder behöver vidtas.

För befintliga dammar medger riktlinjerna i vissa fall där utskovskapaciteten vid dämningens gräns är lägre än dimensionerande tillrinning, att överdämning, dvs dämning till högre vattenstånd än fastställd dämningens gräns, får utnyttjas för att öka avbördningen.

Likasa får de realistiska möjligheter, som kan finnas att genom överdämning dämpa ett extremt flöde, utnyttjas för att förhindra dammbrott i nedströms liggande dammar. Överdämning får dock inte göras så att den egna dammens bestånd äventyras.

Genom samverkan om flödesdämning ges dessutom möjlighet att utnyttja aktiv dämning för att reducera avrinningen och därmed flödesbelastningen på nedströms liggande dammar. Med aktiv dämning menas här att avbördningskapacitet avsiktligt inte utnyttjas till fullo för att härigenom dämpa flödet nedströms. Möjligheten till aktiv dämning framgår av följande citat från riktlinjerna:

”Vid bestämmandet av det dimensionerande flödet för en befintlig dammbyggnad får hänsyn tas till de realistiska möjligheter att dämpa flödesavrinningen, som kan förefinnas dels vid den aktuella dammen, dels vid annan uppströms i samma älvsystem belägen dammbyggnad, vars innehavare åtagit sig att vid risk för dammbrott samverka med den aktuella dammens innehavare om flödesdämning.”

När det gäller att fastlägga vilken flödesdämning som är realistisk i en utbyggd älv behöver först fastläggas vilken överdämning respektive damm tål rent tekniskt sett. Därefter görs en bedömning i vilken grad teoretiska överdämningsförmågan kan utgöra ”realistiska möjligheter” till flödesdämning i det aktuella magasinet och hur mycket dämningen kan utnyttjas i älven i sin helhet.

Enligt FLKs riktlinjer skall en damm ”utan allvarlig skada” kunna ta hand om dimensionerande tillrinningen. Vår tolkning av vad som menas med ”utan allvarlig skada” i samband med dimensionerande tillrinning, är att dammen med säkerhet skall kunna hålla uppe magasinet, dvs inte rasa.

3. FRÅGESTÄLLNING

Denna studie begränsar sig till att behandla vilken överdämningsnivå som en fyllningsdamm tål tekniskt sett med acceptabel säkerhet mot brott. Hur långt detta skall utnyttjas i älven i sin helhet i en kritisk situation behandlas dock ej här.

Det kan konstateras att det inte är möjligt att ge några generella svar på en damms överdämningsförmåga. Varje damm måste analyseras för sig. Det är respektive dammägares uppgift att övertyga övriga dammägare i älven och vattendomstolen att den överdämningsnivå som förutses kunna bli utnyttjad är säker.

VASO dammkommitté har tidigare rekommenderat att tätjärnans överkant kan användas som gräns för överdämning vid översiktliga bedömningar. Detta kan vid analys av enskilda dammar visa sig vara en såväl för hög som för låg nivå.

Denna studie avser att behandla följande:

- Svaga punkter och kritiska händelseförlopp som kan förekomma vid överdämning i vanliga svenska fyllningsdammar.
- Generella säkerhetsbedömningar för att ge enhetligt underlag vid analyser av enskilda anläggningar.
- Exempel på förstärkningsmetoder för att öka överdämningsförmågan.

4. SÄKERHETSBETRAKTELSE

En konstruktion dimensioneras generellt sett för att klara såväl normala som extrema belastningar med betryggande säkerhetsmarginaler. Säkerhetsmarginalerna skall täcka in ett antal osäkerhetsfaktorer bl a avseende belastning, materialegenskaper, mått och beräkningsmetoder.

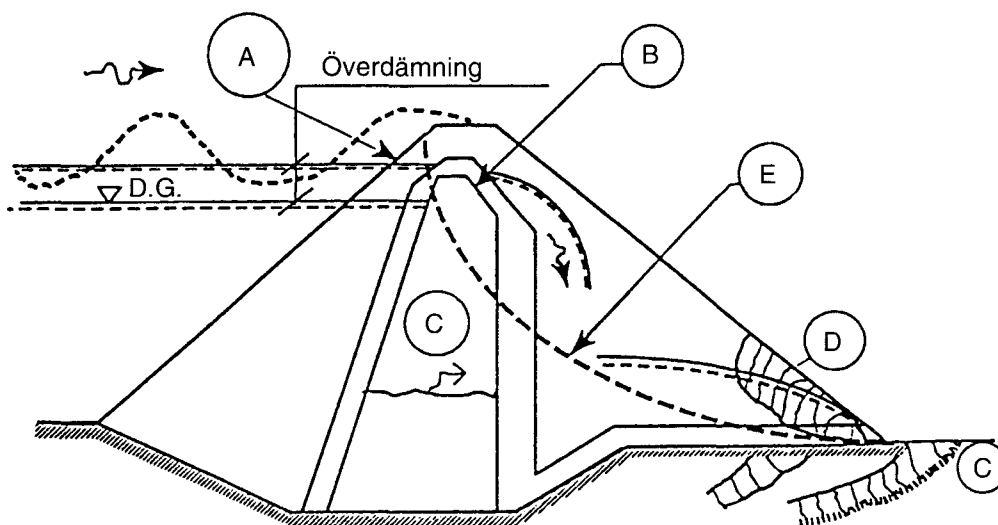
När belastningen vid ett givet tillfälle är extremt hög, har osäkerheten beträffande belastningen (sannolikheten för ytterligare belastningsökning) reducerats jämfört med normalbelastningsfallet. Den erforderliga säkerhetsmarginalen kan i detta läge reduceras med bibehållande av "betryggande" säkerhet.

När det gäller de övriga nämnda osäkerheterna i en konstruktion, kan man för en befintlig anläggning genom att studera och utvärdera konstruktionens reaktion på belastningen under dess livstid få en uppfattning om dessa osäkerheter har reducerats. Denna eventuellt minskade osäkerhet kan vägas in vid en säkerhetsanalys för ett extremt belastningsfall.

5. SKADERISKER VID OLIKA ÖVERDÄMNINGSGRADER

5.1. Allmänt

Vid överdämning kan uppstå kritiska effekter, som är beroende av överdämningens storlek och dammens konstruktion samt kondition. Vid flertalet anläggningar finns dock följande gemensamma tänkbara skaderisker:



- A) Ytlig erosion i dammens uppströmsslänt och krön
- B) Läckage och inre erosion i dammkrönet
- C) Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden
- D) Erosion vid dammtån
- E) Stabilitet hos nedströmsslänten

I vilken omfattning ovanstående effekter kan vara aktuella är beroende på graden av överdämning. Aktualiteten hos flera av effekterna förändras när överdämningen når följande nivåer:

- Täckärnans överkant.
- Överkanten för eventuellt filter över täckärnan.
- Överkanten för dammkrönet.

I det följande behandlas de olika kritiska punkterna var för sig och diskuteras eventuella stegvisa förändringar i aktualiteten beroende på graden av överdämning.

5.2. Ytlig erosion i dammens uppströmsslänt och krön

Vågor mot dammen bryter och spolask upp mot krönet. Vid alltför litet fribord kommer vågor att spola upp på krönet och kunna orsaka erosion av krönet och/eller erosion av nedströmsslänten samt dammtån. Skador som kan inträffa är förutom uppspolningshöjden även beroende av aktuella material i krön och stödfyllning. En jordfyllningsdamm kräver under osäkra förhållanden större marginaler mot överströmning än en stenfyllningsdamm.

I FLKs riktlinjer finns anvisningar att erforderlig fribord skall beräknas med hänsyn till vattenytans snedställning och förekommande vågrörelser vid ogynnsammaste vindriktning och angivna vindhastigheter. I ”Tillägg nr 2 till FLKs riktlinjer” har vindhastigheterna reducerats. I det följande tas hänsyn till denna ändring vid beräkning av fribordet för belastningsfallet vind kombinerad med dimensionerande flöde.

Det bör här noteras att i de fall då magasinet ofta ligger vid dämmningsgränsen behöver erosionsskyddet klara en mer extrem vind, som kan förekomma vid annat tillfälle än i samband med dimensionerande flöde. I ”Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar” [2] föreslås att dimensionerande vindhastigheter skall vara 29–33 m/s i hög fjällterräng och 25–28 m/s i lägre fjällterräng och övre skogslandet. Dessa hastigheter skall dock som ovan nämnts inte kombineras med dimensionerande flöde.

Generellt gäller att risken för allvarliga erosionsskador på dammkrönet ökar successivt vid ökad överdämning och därmed minskat fribord. Skaderisken ökar markant då fribordet till dammkrönet genom överdämning minskat till vågornas uppspolningshöjd.

Vidare kommer vid överdämning erosionsskyddet att bli belastat på nivåerna som inte tidigare varit utsatta för vågor. Eventuella skillnader i utformningen av skyddet på olika nivåer kan härigenom ha betydelse för bedömning av skaderisken.

Uppspolningen av vågor kan beräknas enligt någon av följande beskrivningar: bilaga 1 i VAST-VATTENFALLS rapport [2], Vattenfalls handbok Jord- och stenfyllningsdammar [3] eller Forskrifter For Dammar från Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen [7]. Det bör här noteras att det finns anvisningar från t ex Bureau of Reclamation [8] som ger något högre våghöjder, eftersom ett annat sätt används för att beräkna stryklängden. Man har dock funnit att det för tillfället inte finns underlag för att ändra den praxis för beräkningarna som finns i ovan nämnda beskrivningar. Hur vågor beräknas framgår av rapport om vågor i vattenkraftmagasin, nummer 10 i denna serie [9].

Stenstorleken i släntbeklädningen som skydd mot erosion kan vidare vara en kritisk punkt. Erforderlig stenvikt i beklädningen beräknas lämpligen enligt Vattenfalls handbok [3], se även rapport om erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänt, nummer 11 i denna serie [10].

5.3. Läckage och erosion i dammkrönet

Vid överdämning kan läckage inträffa i tät kärnans övre del, vilken kan vara något mer vattengenomsläpplig än övriga tät kärnan, då den ofta byggs av något grövre morän för att minska tjälfarligheten. Vidare kan tjälen orsaka viss uppluckring av moränen, vilket medför högre vattengenomsläpplighet. Eventuellt läckage genom tät kärnans övre del kan dock bedömas medföra liten risk för allvarliga skador under förutsättning att kärnan är skyddad av filter med rimlig kvalitet.

Om överdämning skulle göras över tät kärnans nivå, blir läckaget beroende på aktuella materialets genomsläpplighet. Normalt finns ett finfilter närmast över tät kärnan, vilket har relativt begränsad genomsläpplighet.

Tiden för överdämningen (timmar-dygn) har också betydelse, eftersom det tar viss tid att uppnå stationär strömning, speciellt vid vattenstånd som ligger under nivån för överkanten på finfiltret som normalt finns över tåtkärnan. Det bör dock observeras, att hastigheten för fronten för att uppnå vattenmättnad är många gånger högre i början än hastigheten vid stationär strömning. Detta beror på att gradienten vid fronten när materialet vattenmättas är mycket hög i början och med tiden avtar mot gradientens storlek vid stationär strömning. Risken för allvarliga skador i krönet på grund av genomläckning kan dock bedömas vara liten, under förutsättning att övergången mellan olika material uppfyller moderna filterregler.

5.4. Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden

Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden är, tillsammans med överströmning av krönet, vanligaste orsaken till dammbrott. Vid överdämning kommer tryckskillnaden mellan uppströms och nedströms vattenyta att bli större och gradienten öka.

Risken för att inre erosion skall inträffa i undergrunden i samband med överdämning mot en damm, som är grundlagd på erosionsbenäget material, kan bedömas vara liten i de fall där områden där läckage mynnar på nedströmssidan är täckta med filtermaterial som uppfyller filterreglerna mot underliggande material. Om områden, där vatten i samband med en överdämning kan komma att läcka ut genom erosionskänsligt material, inte är täckta med filter finns däremot en uppenbar risk att bakåtgripande erosion kan uppstå.

I samband med överdämning kan inre erosion uppstå i tåtkärnan på grund av ökad gradient mellan uppströms- och nedströmssidan av kärnan. Risken för att erosionen skall leda till skador är liten i de fall där nedströmsfiltret uppfyller moderna krav på filterregler, jämför [3] och [4]. Befintliga dammar kan dock ha ett grövre filter, eftersom reglerna tidigare varit mindre restriktiva. Den aktuella kornfördelningen hos filtret nedströms tåtkärnan är därför en faktor som påverkar risken för inre erosion vid överdämning.

Risken för att överdämning skall medföra inre erosion i undergrunden eller dammkroppen ökar successivt med ökad överdämning. Någon stegvis förhöjning av risken då vattenståndet når någon specifik nivå finns således inte.

Risken för inre erosion bör särskilt beaktas vid dammar som har central smal tåtkärna och nedströms stödfyllning av erosionskänsligt material. I de fall där nedströms stödfyllning utgörs av sprängsten och är grundlagd på berg kan dock risken för att inre erosion leder till dammbrott bedömas vara liten.

5.5. Erosion vid dammtån

När läckagevatten från t ex läckning genom tåtkärnan, krönet och eventuellt överströmmande vatten leds genom materialet i nedströms stödfyllning och strömmar ut vid dammtån, kan erosion uppstå vid utströmningspunkten. Risken för erosion är, förutom av mängden utströmmande vatten, beroende av materialets kornfördelning och nedströmsläntens lutning. Även topografin i området är av stor betydelse, eftersom läckagemängden vid utströmningspunkten beror på hur vattnet leds mot lågpunkter i terrängen.

Forskning pågår, både av Vattenfall Utveckling AB i Älvkarleby och vid Norsk Hydroteknisk Laboratorium, om erosionsrisken vid utströmning av vatten genom olika material. Enligt Solvik [5] kan erforderlig stenstorlek för att undvika att erosion startar beräknas enligt följande formel:

$$d = 1,5 \cdot q^{2/3} \cdot I^{7/9}$$

där d = erforderlig stenstorlek (m), oftast används D_{50} eller D_{65}
 q = flödet i m^3/s , m
 $I = \sin \alpha$, där α är släntlutningen mot horisontalplanet

Om materialet vid dammtån består av sprängsten kan markant större vattenflöde strömma ut i jämförelse med ett mer finkornigt material (t ex sandigt grus) utan att erosion uppstår. Det bör dock noteras att sprängstenen som använts i svenska dammar ofta kommer från utsprängning av bergtunnlar och har markant mindre styckefall än det som t ex använts i norska dammar, där materialet åtminstone för dammar byggda på senare tid tagits fram för ändamålet från ett särskilt bergtag. Vidare finns i Norge inom områden aktuella för dammanläggningar ofta tillgång till urberg (granit och gnejs), medan i fjälltrakterna i Sverige många gånger endast finns skiffrar, som är svagare och ger mindre styckefall.

Säkerheten mot erosion vid dammtån på grund av utläckande vatten som t ex överströmmat tåtkärnan vid överdämning kan inte beskrivas med en säkerhetsfaktor. Erforderlig diameter hos materialet kan för brottstadiet uppskattas med empiriska formler, t ex som beskrivits ovan. Bedömning behöver därför göras med hänsyn till osäkerheter i använda ingångsparametrar, t ex genomsläpplighet hos materialen i dammkrönet, uppspolningen av vågor, kornfördelningen hos stödjorden i dammtån m m.

Beräkningen av överdämningsnivån som av denna orsak kan accepteras behöver för att komma på "säkra sidan" göras med konservativt antagna ingångsparametrar. I en internrapport från Älvkarlebylaboratoriet (av Nils Johansson, dat 1993-03-18) framgår att ovan angivna faktor 1,5 i Solviks formel dessutom förefaller ge resultat på säkra sidan. Om faktorn ersätts med 0,75 anges att formeln beskriver ett senare skede då enstaka stenar följt med strömmen och ett nytt stabilt läge inträffat.

Beräkning av när erosion i dammtån inträffar, uppskattad med hjälp av ovan nämnda formel innehållande faktorn 1,5, för några tänkta exempel på dammar framgår av bilaga 1. Av resultaten framgår att risken för erosion vid dammtån är liten så länge som vattnet inte når upp över överkanten på eventuellt finfilter över tåtkärnan.

5.6. Stabilitet hos nedströmsslänten

Vid dimensionering av dammar brukar stabiliteten för nedströmsslänten beräknas med glidytor. Vid traditionellt använda lutningar på nedströmsslänten blir stabiliteten dock tillfredsställande, så länge stödfyllningen på grund av överströmning eller läckage inte fylls med vatten. Om slänten fylls med vatten uppstår portryck som markant kan minska fyllningens stabilitet. Utglidning kan då inträffa plötsligt. För att portryck skall uppstå erfordras dock stort läckage eller en stor överdämning över tåtkärnans överyta.

En stödfyllning av sprängsten har oftast så hög vattengenomsläpplighet att erosionen vid dammtån blir kritisk, långt innan portryck uppstår som påverkar totalstabiliteten. Om stödfyllningen består av mer finkornigt material (t ex sand och grus) kan dock portryck uppstå vid lägre vattenflöden. Stabiliteten behöver då kontrolleras för uppskattade vattenmängder och portrycksfördelningar.

Enligt praxis brukar dammar dimensioneras så att säkerheten för utglidning åt nedströms hållet vid stationär strömning med vattenståndet i magasinet vid DG blir minst 1,5. Om vattenståndet skulle höjas till dammkrönet kan då beräknas att säkerhetsfaktorn alltid blir högre än 1,3 (dvs sänkning med max 13 %), under förutsättning att inga ökade portryck uppstår i undergrunden eller stödfyllningen nedströms tätkärnan. Den aktuella säkerheten mot utglidning kan för en befintlig damm antas vara högre än 1,3 under förutsättning att mätningar av deformationer av dammkrönet visar normala värden. Vid överdämning finns härigenom ingen direkt risk för ett rent stabilitetsbrott, under förutsättning att portryck inte uppstår i nedströmsslänten och dammen har uppvisat normala deformationer då vattenståndet i magasinet ligger vid dämningssgränsen.

6. FAKTORER SOM PÅVERKAR ÖVERDÄMNINGSFÖRMÅGAN

Risken för dammbrott i samband med överdämning är beroende på en mängd faktorer som är unika för dammanläggningen. Följande faktorer kan dock förutses vara gemensamma för anläggningarna:

- Dammens kondition med hänsyn till underhåll.
- Dammtyp (sten- eller jordfyllningsdamm).
- Dammens konstruktion.
- Inverkan av vågor.
- Utskovsanordningarnas funktion vid överdämning.
- Bemanning/övervakning i samband med överdämning.

Konstruktionsfaktorer som påverkar överdämningsförmågan kan t ex vara följande:

- Tåtkärnans nivå över dämningssgränsen (lokala lågpunkter?).
- Dammkrönets nivå över dämningssgränsen (lokala lågpunkter?).
- Isolering mot tjäle (särskilt i lågpunkter?).
- Tåtkärnans risk för uttorkning (magasinets reglering?).
- Material i tåtkärnans övre del (grövre morän överst?).
- Material närmast över tåtkärnan (ev. filter, genomsläpplighet?).
- Material mellan filter och krön (genomsläpplighet, erosionsmotstånd?).
- Material i dammens nedströmsfilter (filterverkan mot moränen?).
- Nedströmssläntens lutning (stabilitet vid genomströmning?).
- Material i dammens nedströmstå (erosionsmotstånd?).
- Nivå längs nedströmstå (lokala utströmningspunkter?).
- Utskovsanordningarnas funktion (stabilitet, luckmanövrering?).

Mängden faktorer som påverkar förmågan till överdämning gör att några generella regler inte kan ställas upp utan möjligheterna behöver studeras i varje enskilt fall av teknisk expertis.

Vid bestämning av högsta nivå som vattenytan kan få stiga behöver hänsyn tas till bl a ovanstående listade faktorer. Erforderliga undersökningar i fält blir beroende av tillgänglig dokumentation över dammen och dammsäkerhetsbedömningar gjorda i samband med besiktningar etc. Mängden faktorer som påverkar förmågan till överdämning gör att några generella regler för undersökningar inte heller kan ställas upp, utan behovet av erforderlig kompletterande information behöver bedömas i varje enskilt fall.

I de fall där överdämning kan bli aktuell bör vidare studeras behovet av eventuell kompletterande instrumentering, t ex läckagemätning, höjning av pglar för att kunna mäta uppströms vattenstånd, modifiering av eventuella automatiska system mellan vattenståndsmätning och luckmanövrering. Dessutom bör övervakningsprogram utarbetas där bemanning etc i samband med överdämning specificeras.

7. MÖJLIGHETER TILL ATT KUNNA ÖVERDÄMMA TILL TÄTKÄRNANS ÖVERYTA ELLER OVANPÅLIGGANDE FILTERS ÖVERYTA

Allt sedan FLKs riktlinjer kom ut har möjligheterna diskuterats att i en extrem flödes-situation tillåta överdämning till i nivå med tätkärnans överyta eller även upp till överkanten på finfiltret, som ofta finns över tätkärnan. Det är därför här av intresse att sammanfatta de förutsättningar som bör finnas för att dammen med säkerhet skall kunna hålla uppe magasinet vid dessa vattenstånd.

Om vattenståndet tillåts stiga till i nivå med tätkärnans överyta skall, enligt vad som framgår i ovanstående avsnitt, följande förutsättningar finnas:

- Vid överdämningen behöver fribordet från vattenytan till lägsta nivån på dammkrönet vara större än vågornas uppspolningshöjd, såvida inte dammens krön, nedströmsslänt och nedströmstå är utformad för att tåla överspolning av vågor.
- Uppströms erosionsskydd behöver upp till i nivå med dammkrönet vara utformat för att tåla vågor som kan uppstå vid de vindhastigheter som anges i riktlinjerna.
- Nedströms tätkärnan skall finnas ett bra filter upp till minsta nivån för tätkärnans överyta.

Vid precisering av tillåten överdämningsnivå till exempelvis tätkärnans överyta, bör vägas in eventuell osäkerhet om tätkärnans verkliga nivå. Antingen kan tätkärnans lägsta nivå fastställas genom undersökningar i fält eller så kan tillåten överdämningsnivå justeras med hänsyn till eventuella osäkerheten i verkliga nivån för tätkärnan. Vidare bör som ovan nämnts studeras behovet av kompletterande instrumentering och övervakning i samband med eventuell överdämning.

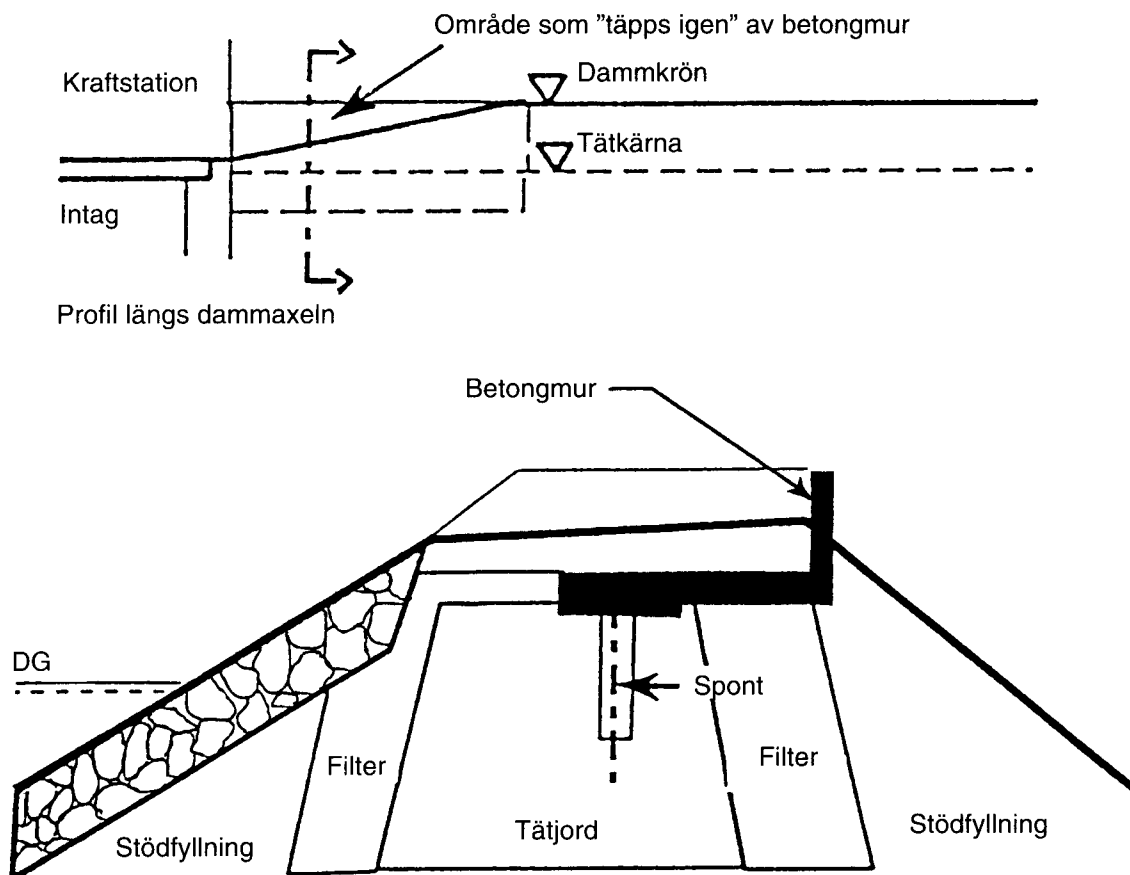
Ovanstående gäller också om vattenståndet skulle tillåtas stiga till i nivå med överkanten på finfiltret som ofta finns över tätkärnan. I detta fall tillkommer att läckagemängden (från genomläckning av filtret och från uppspolade vågor) behöver uppskattas för att man skall kunna bedöma risken för erosion vid vattnets utläckning vid dammtån.

8. FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER FÖR ATT SÄKERSTÄLLA ÖNSKAD ÖVERDÄMNINGSFÖRMÅGA

För att öka överdämningsförmågan mot en fyllningsdamm kan t ex följande typer av förstärkningar bli aktuella:

1. Förhindra överströmning av dammkrönet med t ex en mur i eventuella lokala lågpunkter och/eller längs hela krönets längd.
2. Förstärkning av nedströms dammtå.
3. Höjning av tätningen i dammkrönet.
4. Förstärkning av erosionsskydd, se avsnitt 5.2.

Det är som ovan nämnts vanligt i Sverige att fyllningsdammar har lägre nivå vid anslutning till utskov eller intag i jämförelse med dammens normalsektion. Genom en förstärkning, som förhindrar överströmning av krönet i dessa lokala punkter, kan därför i vissa fall överdämningsförmågan markant förbättras med en begränsad insats. Ett exempel på förstärkning med en betongmur framgår av nedanstående figur.

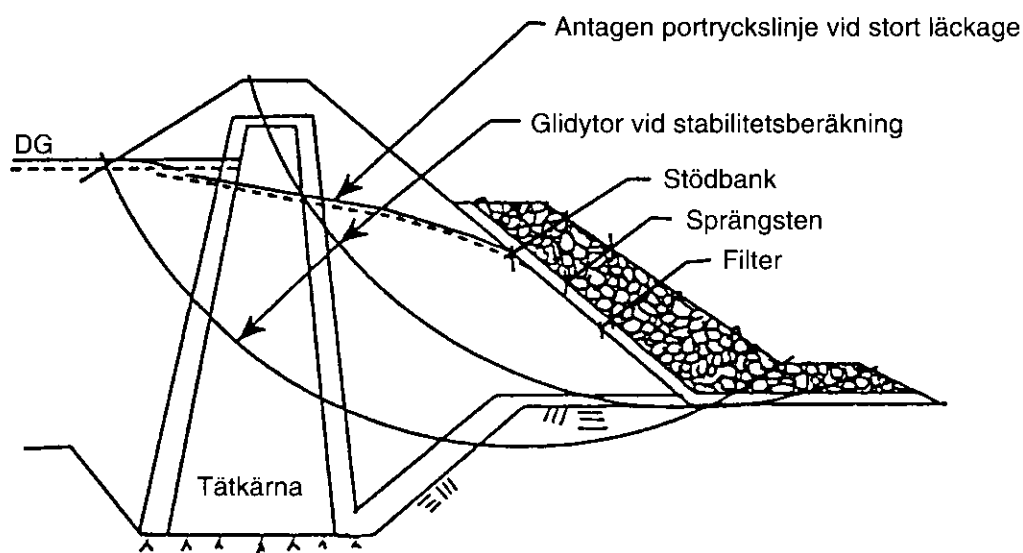


Sektion vid lokal lågpunkt längs dammskrönet

ANTECKNINGAR

Betongmuren har anslutits till tätkärnan med en kort spont och har i detta speciella fall, för att ansluta till befintliga konstruktioner, placerats på nedströmssidan av krönet. Om det är praktiskt möjligt ger en placering av muren på uppströmssidan av krönet framkomlighet vid en eventuell överdämning.

En annan kritisk punkt vid överdämning är erosion vid dammtån på grund av utströmning av vatten från läckage eller överströmning av dammens tätning. En förstärkning av tån behöver dels göras med tillräckligt grovt material, som motstår erosion vid förväntat flöde och ändå uppfyller filterkriterier mot underliggande material, dels ges sådan tyngd att stabiliteten säkerställs om portryck förväntas uppstå i slänten. Vid bestämning av förstärkningens utsträckning behöver tänkbara utströmningsområden bestämmas från topografin och dammens utbredning i plan. Ett exempel på en sådan förstärkning visas av nedanstående figur:



Förstärkning av dammtån på detta sätt kan vara lämplig att utföra på många dammar för att öka dammsäkerheten helt oberoende av om överdämning kan bli aktuell. I första hand bör tåförstärkning övervägas för jordfyllningsdammars där läckage förekommit och/eller där man vet att nedströmsfiltret inte uppfyller moderna krav på filterregler.

Höjning av tätkärnans nivå kan slutligen bli aktuellt för att säkerställa önskad överdämningsförmåga. Exempel på sådana höjningar finns redovisade i avsnitt 6 i VAST-VATTENFALLS rapport [2].

ANTECKNINGAR

9. REFERENSER

- [1] *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*, Slutrapport från Flödeskommittén, maj 1990 och Tillägg nr 2 avseende: *Ändring beträffande vindhastighet vid bestämmande av erforderligt fribord*, dat 1994-02-08.
- [2] *Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar*, Rapport från VAST-VATTENFALL, oktober 1988.
- [3] *Jord- och stenfyllningsdamm*, Handbok från Vattenfall, 1988.
- [4] *Critical Filters for Impervious Soils*, J.L. Sherard, Journal of Geotechnical Engineering No. 7, July, 1989.
- [5] *Safe Remedies for Leaking Embankment Dams*, Ö. Solvik, ICOLD, Q.52, R.78, Rio de Janeiro, 1982.
- [6] *Throughflow and Stability Problems in Rockfill Dams Exposed to Exceptional Loads*, Ö. Solvik, ICOLD, Q.67. R.20, Vienna, 1991.
- [7] *Forskrifter For Dammer*, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, 1982.
- [8] *Freeboard Criteria and Guidelines for Computing Freeboard Allowances for Storage Dams*, Bureau of Reclamation, Revised 1992 (1981).
- [9] *Vågor i vattenkraftmagasin*, VASO dammkommittés rapport nr 10, 1995.
- [10] *Erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänter*, VASO dammkommittés rapport nr 11, 1995.

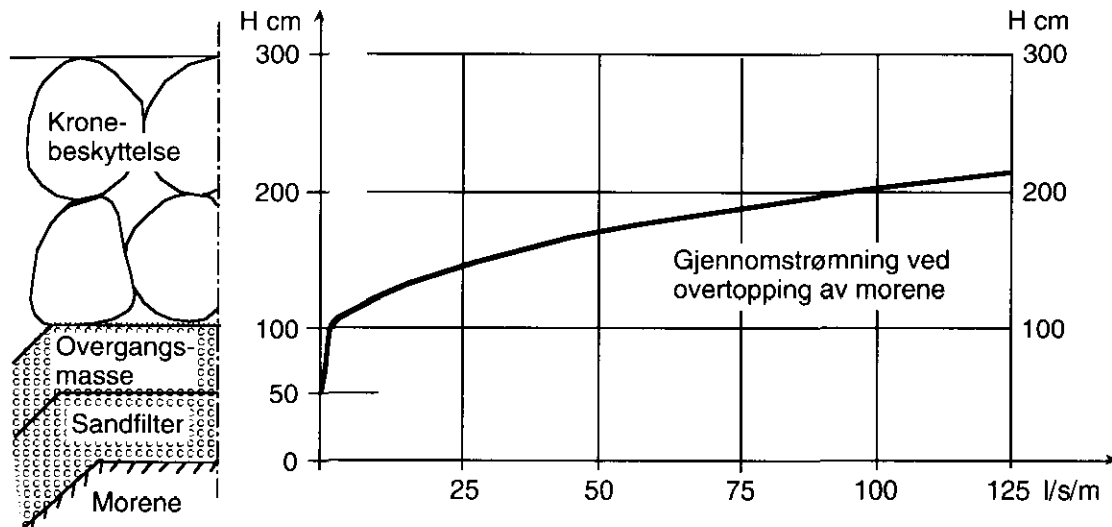
ANTECKNINGAR

10. BILAGA 1

ANTECKNINGAR

EXEMPEL PÅ UPPSKATTNING AV EROSIONSMOTSTÅNDET VID DAMMTÅN

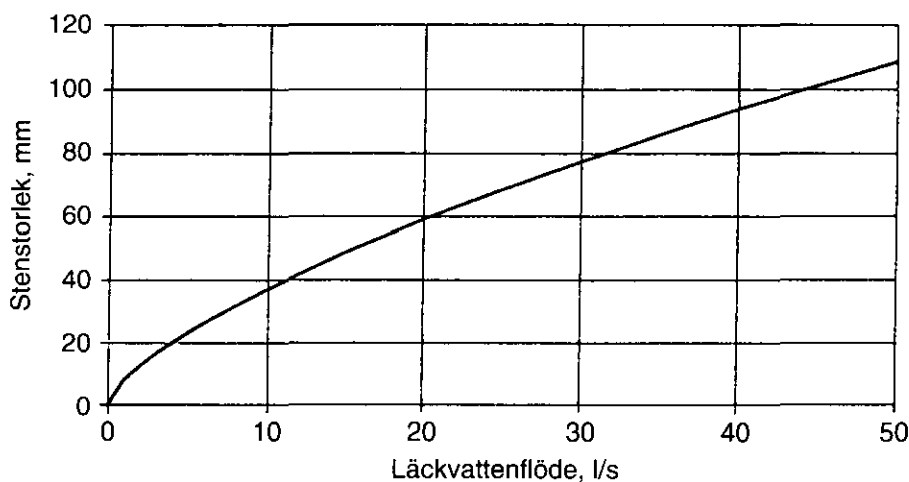
Enligt avsnitt 4.5. ovan kan stenstorleken när erosion startar vid dammtån beräknas från vattenflödet och dammens släntlutning. Vattenflödet har beräknats av Solvik [6] vid olika överdämning vid ett exempel på utformning av krönet. Materialet över tåtkärnan antas bestå av 0,5 m sandfilter ($k = 10^{-2}$ cm/s), 0,5 m övergångslager ($D_{10} = 12$ mm) och 2 m sprängsten ($D_{10} = 200$ mm). Läckaget per meter av dammkrönet har med dessa antaganden beräknats vid olika överdämning enligt följande figur hämtad från Solviks rapport:



Överdämningens storlek kan bestämmas för följande exempel på material vid dammtån och eventuell koncentration av läckaget:

1. Sandigt grus, $D_{50} = 10$ mm, tvådimensionell utströmning.
2. Sandigt grus, $D_{50} = 10$ mm, läckning från 500 m lång damm strömmar ut på 10 m sträcka.
3. Sprängsten, $D_{50} = 100$ mm, tvådimensionell utströmning.
4. Sprängsten, $D_{50} = 100$ mm, läckning från 500 m lång damm strömmar ut på 10 m sträcka.
5. Sprängsten, $D_{50} = 500$ mm, tvådimensionell utströmning.
6. Sprängsten, $D_{50} = 500$ mm, läckning från 500 m lång damm strömmar ut på 10 m sträcka.

Vid beräkning enligt uttrycket i avsnitt 4.5. ovan erhålls följande förhållande mellan erforderlig stenstorlek och vattenflöde:



ANTECKNINGAR

Vattenflödet per meter dammkrön då erosion startar vid dammtån och erforderligt vattenstånd H över tätkärnans överyta för att uppnå detta läckage erhålls härigenom till följande:

Exempel	D_{50} (mm)	q (l/s, m)	H (m)
1	10	1,5	0,8
2	10	0,03	0,55
3	100	45,0	1,5
4	100	0,9	0,6
5	500	493,0	ca 3,3*
6	500	10,0	1,2

* dvs ca 0,3 m över krönet

Från ovanstående exempel kan dras följande slutsatser:

- När krönet utformas som ovanstående exempel med krönskydd av mycket grov sprängsten, erhålls oftast erosion vid dammtån långt innan vattenståndet når dammkrönet, även om stödfyllningen nedströms dammen utgörs av en relativt grov sprängsten enligt svenska förhållanden.
- I detta exempel startar erosionen vid dammtån då vattenståndet når 0,8 m över överkanten på tätkärnan, dvs ca 0,3 m upp i övergångslagret över finfiltret.
- När överdämning över tätkärnan sker över en lång sträcka av en stenfyllningsdamm ($D_{50} = 100$ mm) och utströmningen av vattnet koncentreras till en begränsad bredd (t ex i älvfårans lågpunkt) kan erosionen i dammtån börja när överdämningen i detta exempel når 0,6 m över tätkärnan, dvs strax över finfiltrets överyta.
- När överdämning görs över tätkärnan på en jorddamm ($D_{50} = 10$ mm) med stor längd och läckaget koncentreras till en begränsad bredd (t ex i älvfårans lågpunkt) kan erosionen starta vid dammtån då vattenståndet når ungefär i nivå med finfiltrets överyta (i detta exempel 0,55 m över tätkärnans överkant).
- Om materialet vid dammtån utgörs av mycket grov sprängsten ($D_{50} = 500$ mm) ökar erosionsmotståndet markant och om läckaget sker vinkelrätt mot dammaxeln, dvs ingen koncentration sker till en viss utströmningspunkt, beräknas vattenståndet kunna övertoppa dammkrönet innan erosion inträffar vid dammtån.

Det bör dock noteras att i ovanstående exempel har antagits att krönet överst består av mycket grov sprängsten (krönskydd) och att stödfyllning består av finkornigare material. I andra fall kan omvända förhållanden förekomma där krönet utgörs av förhållandevis tätt material. Högre överdämning kommer då att kunna tillåtas med hänsyn till risken för erosion vid dammtån.

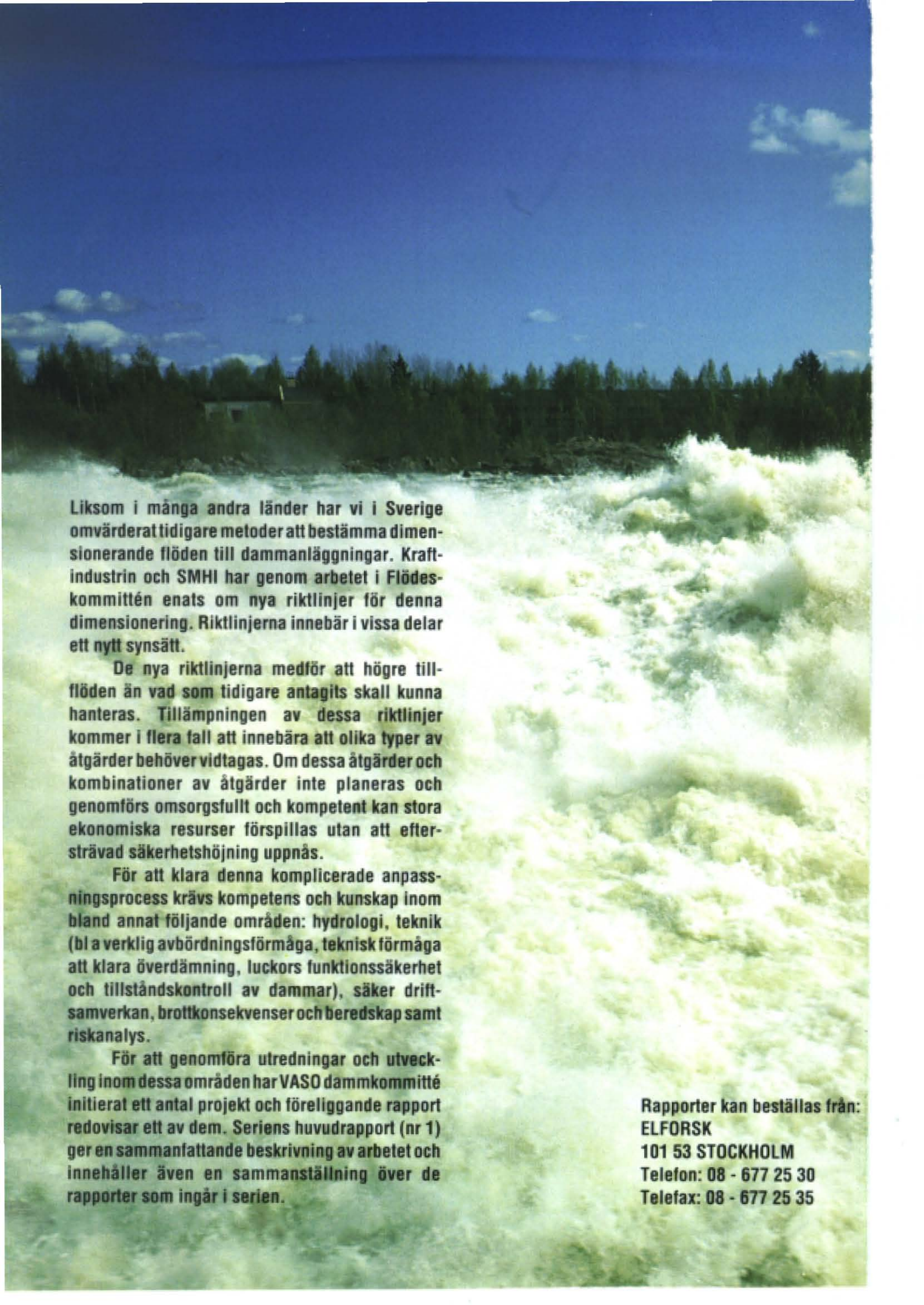
ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR



Liksom i många andra länder har vi i Sverige omvärderat tidigare metoder att bestämma dimensionerande flöden till dammanläggningar. Kraftindustrin och SMHI har genom arbetet i Flödeskommittén enats om nya riktlinjer för denna dimensionering. Riktlinjerna innebär i vissa delar ett nytt synsätt.

De nya riktlinjerna medför att högre tillflöden än vad som tidigare antagits skall kunna hanteras. Tillämpningen av dessa riktlinjer kommer i flera fall att innebära att olika typer av åtgärder behöver vidtagas. Om dessa åtgärder och kombinationer av åtgärder inte planeras och genomförs omsorgsfullt och kompetent kan stora ekonomiska resurser förspillas utan att eftersträvd säkerhetshöjning uppnås.

För att klara denna komplicerade anpassningsprocess krävs kompetens och kunskap inom bland annat följande områden: hydrologi, teknik (bl a verklig avbördningsförmåga, teknisk förmåga att klara överdämning, luckors funktionssäkerhet och tillståndskontroll av dammar), säker driftsamverkan, brottkonsekvenser och beredskap samt riskanalys.

För att genomföra utredningar och utveckling inom dessa områden har VASO dammkommitté initierat ett antal projekt och föreliggande rapport redovisar ett av dem. Seriens huvudrapport (nr 1) ger en sammanfattande beskrivning av arbetet och innehåller även en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Rapporter kan beställas från:
ELFORSK
101 53 STOCKHOLM
Telefon: 08 - 677 25 30
Telefax: 08 - 677 25 35