



VASO dammkommittés rapport nr 13

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

FILTER – INVENTERING OCH FUNKTIONSANALYS

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 13

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

FILTER – INVENTERING OCH FUNKTIONSANALYS

Åke Nilsson, VBB Anläggning 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. MÅL OCH GENOMFÖRANDE AV INVENTERING	2
3. FILTER I FYLLNINGSDAMMAR	3
3.1. Tidigare filterregler och praxis	3
3.2. Norska erfarenheter	4
3.3. Svenska erfarenheter och nuvarande filterkriterier	4
4. RESULTAT	7
4.1. Allmänt	7
4.2. Information från VBB Anläggnings och Vattenfalls arkiv	7
4.3. Samband mellan sjunkgropar/läckage och nedströmsfiltrets kornfördelning	8
5. SLUTSATSER	9
6. REFERENSER	11
7. BILAGOR	13

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 och Lars-Erik Bäckmar, VBB Anläggning AB under medverkan av Roy Nilsson och Jan Lundin, Vattenfall Hydropower AB, Malte Cederström, Vattenfall och Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen, har varit beställarens styrgrupp.

I arbetet har en inventering av nedströmsfilter i flertalet större svenska fyllningsdamm gjorts och av denna framgår att filtren enligt arkivuppgifter i många fall inte uppfyller de kriterier som numera gäller enligt Vattenfalls handbok Jord- och stenfyllningsdamm från 1988. I tidigare riktlinjer var kraven otydligare och inte lika strikta. Detta medförde bland annat att större risk för separation förelåg vid filtrets utläggning och därmed en ökad risk för erosion.

Där kraven enligt de nya filterreglerna inte uppfylls, föreslås ökad vaksamhet vid tillsyn, inspektion och besiktning för tidig upptäckt av begynnande inre erosion och läckage och i många fall kan ökad instrumentering rekommenderas – i första hand läckagemätning. Vid sådana fyllningsdamm där den totala stabiliteten inte är säkerställd vid stora läckage kan utläggning av en tryckbank av sprängsten på nedströmssidan övervägas för att öka stabiliteten.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

Kornfördelningen för nedströmsfiltret hos fyllningsdammar byggda efter 1950 har inventerats genom att studera uppgifter från VBB Anläggnings arkiv och Vattenfalls arkiv. De flesta uppgifterna kommer från provtagning av utlagt filter i samband med byggandet, men i några fall finns också information från efterprovningar gjorda i samband med skador på dammar.

Genomgång görs av hur filterreglerna förändrats sedan de första reglerna tillkom efter Terzaghis studier på 1940-talet. Under huvudsakliga byggnadsperioden för svenska dammar har tillämpats regler som finns beskrivna i Vattenfalls "Jorddammshandbok" från 1958. Det fanns dock oklarheter i reglerna och inga anvisningar gavs om maximala stenstorleken för filtermaterialet. Kornfördelningen för filtren kom härigenom att variera inom vida gränser och i många fall kunde tillåtas att filtret hade ett icke specificerat relativt stort innehåll av grus och sten.

Nu gällande anvisningar för dimensionering av filter finns redovisade i handboken "Jord- och stenfyllningsdammar", Vattenfall 1988. Allmänt gäller att tätkärnor av morän kräver finkornigare nedströmsfilter än vad tidigare regler föreskrivit. För att undvika stenanhopningar i samband med utläggningen har också maximala stenstorleken begränsats.

Inventeringen omfattar uppgifter om kornfördelningen för nedströmsfiltret på totalt 44 fyllningsdammar. Resultatet visar att kornstorleken D_{15} vid de flesta anläggningarna inte uppfyller nu gällande filterregler. Vid några av anläggningarna kan dessutom konstateras att största stenstorleken för filtermaterialet är större än 60 mm, vilket är övre gränsen i nu gällande regler. För många av anläggningarna saknas dock arkivuppgifter om maximala stenstorleken.

I detta projekt har inte gjorts någon systematisk genomgång av vilka dammar som uppvisar problem i form av läckage eller sjunkgropar. Inventeringen ger dock en indikation på att anläggningar där sådana skador inträffat har nedströmsfilter som är bland de grövsta av de filter som inventerats. Vidare finns uppgifter från undersökningar av några dammar med sådana skador att filtren där både haft en allmän grov gradering med stort D_{15} och ett stort steninnehåll som medfört separation med stenansamlingar.

SUMMARY

An inventory of particle size distribution of the downstream filters in earth and rock-fill dams, constructed after 1950, has been produced through studies of the VBB Anläggning and Vattenfall archives. Most of the data has been collected when testing filters in connection with construction, but in some cases there is also data from subsequent tests carried out in connection with investigations of observed deteriorations.

Changes in the filter regulations since the first specifications were introduced, following Terzaghi's studies in the 1940s, have been reviewed. The regulations described in Vattenfall's "Earth Dam Handbook" of 1958 were applied during the principal construction period of Swedish dams. However, there were some uncertainties in the regulations and no instructions on the maximum grain size for the filter material were included. This led to significant variations in the particle size distribution of the filters and in many cases the filters were allowed to have an unspecified, relatively large, content of cobbles.

The current specifications for the design of filters are presented in the handbook "Earth and Rock-Fill Dams", Vattenfall 1988. In general, impermeable cores of moraine now require finer filters than specified in the previous regulations. A limit for the maximum grain size of the filter material is also specified in order to avoid large accumulations of cobbles in connection with construction.

The inventory comprises data on the particle size distribution of downstream filters in a total of 44 earth and rock-fill dams. The results show that at most of the plants the particle size distribution D_{15} does not comply with the current filter criteria. At some of the dams it can also be observed that the maximum grain size for the filter material exceeds 60 mm, which is the upper limit in the current specifications. However, many dams have records not containing any data on maximum grain size.

This project has not included any systematic review of which dams have experienced problems such as seepage or sink holes. However, the inventory does indicate that dams where such damage has occurred have downstream filters which are among the coarsest of those listed. There is also information from the examination of some dams with such damage that the filters had both a generally coarse level of large D_{15} and a large content of cobbles, leading to separation with accumulations of cobbles.

1. ORIENTERING

Denna rapport avser en arkivinventering av kornfördelning hos nedströmsfiltret på flertalet av de större fyllningsdammarna byggda i Sverige efter 1950. Uppgifterna är hämtade ur rapporter som finns arkiverade dels av Vattenfall, dels av VBB Anläggning. Dessutom har medtagits uppgifter från undersökningar i fält som Vattenregleringsföretagen i Östersund låtit genomföra för fem anläggningar i Umeälven.

I projektet har medverkat Roy Nilsson och Jan Lundin, Vattenfall Hydropower AB, som genomfört arkivinventeringen och gett information om skador på Vattenfalls dammar. Inventeringen av dammar som projekterats av VBB Anläggning har utförts av Åke Nilsson och Lars-Erik Bäckmar från VBB Anläggning, som också svarat för samordningen av arbetet samt utarbetandet av föreliggande rapport.

Projektets styrgrupp har bestått av Malte Cederström, Vattenfall och Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen.

2. MÅL OCH GENOMFÖRANDE AV INVENTERING

Avsikten med inventeringen är att undersöka om kornfördelningen och därmed kvalitén hos nedströmsfiltret för svenska dammar varit olika beroende på byggnadsår. I de dammar där problem i form av plötsliga läckage eller sjunkgropar rapporterats noteras om dessa anläggningar har alltför grova filter jämfört med dagens krav.

Sammanställningen kan vidare ge en indikation om vissa dammar har en inbyggd svaghet i form av alltför grova filter och härigenom kan vara känsliga att utsättas för ytterligare belastningar, t ex i samband med överdämning vid extrema flöden. De dammar som visar sig ha särskilt grova filter kan övervägas bli speciellt besiktigade och undersökta i fält genom t ex provschaktningar för att bedöma eventuellt behov av utökad övervakning eller förstärkning.

Inventeringen avser endast filtret på nedströmssidan av tätkärnan och det lager som gränsar till kärnan som i svenska fyllningsdammars i det närmaste alltid utgörs av morän. Övriga filterlager t ex mot tätkärnans uppströmssida eller eventuella ytterligare filterlager mot stödfyllning kan ofta ha grövre kornfördelning och innefattas inte i föreliggande inventering.

De dammar som är av intresse är jord- och stenfyllningsdammars byggda efter 1952 då Harsprånget färdigställdes. Fyllningsdammars byggda efter dammen i Harsprånget är oftast utförda med en tätkärna av morän och omgivande filter, medan Harsprånget och dammar utförda dessförinnan ofta har en tätning med en central betongskärm eller en spont.

För varje damm har ett frågeformulär ”Arkivuppgifter om material i dammens nedströmsfilter och stödfyllning” fyllts i så långt detta varit möjligt, se bilaga 1. Till formuläret har bifogats kornfördelningskurvor för nedströmsfiltret från respektive damm. Uppgifterna kommer alla från provtagning av utlagt filter och i de flesta fall från provtagning i samband med byggandet. Endast några av resultaten härrör från efterprovningar gjorda som stickprovskontroll eller i samband med undersökning av skador.

3. FILTER I FYLLNINGSDAMMAR

3.1. Tidigare filterregler och praxis

Man var inom dammbyggnadstekniken redan tidigt medveten om vissa allmänna filterprinciper, men rationella regler för deras tillämpning fanns inte före Terzaghis studier på 1940-talet, [1]. Laboratorieundersökning med basmaterial av ensgraderad sand ledde då till ett krav, att filtermaterialets kornstorlek D_{15} skulle vara mindre än 4–5 gånger basmaterialets d_{85} . Detta villkor har sedan betraktats som huvudregeln för filter.

D_{15}/d_{85} -kravet har därefter med framgång tillämpats på något så när ensgraderat basmaterial (vilket har stabilt kornskelett). Man fann emellertid snart att det inte utan ytterligare begränsningar kunde tillämpas på tätjord med flack kornkurva såsom moräner, eftersom det då skulle leda till uppenbart alltför grovkornigt filtermaterial.

Systematiska laboratorieundersökningar med månggraderade basmaterial och filtermaterial ledde till att den filtergradering, som ansågs acceptabel, kom att styras av flera parametrar, nämligen D_{50}/d_{50} och D_{15}/d_{15} . Dessa regler har dock vid senare undersökningar, jämför [2], inte helt kunnat bekräftas och ibland funnits vara opraktiska, se [3]. Reglerna har därför internationellt allt mer ersatts av alternativa kriterier som är baserade på indelning av basmaterialet i grupper, jämför avsnitt 3.3 nedan.

Det har visat sig att månggraderat basmaterial såsom moräner ofta består av huvudsakligen silt- och sandfraktioner, i vilka stenar är löst inbäddade. Kornstorleken d_{85} representerar i sådant fall inte ett fast kornskelett, som genom inre filterbildning kan hindra det finkorniga materialet att transporteras bort. Under 1950- och 1960-talet införde man därför i dammbyggnad ytterligare en begränsning av D_{15} , som av Vattenfall sattes till $<45 d_{15}$, medan t ex Waterways Experiment Station föreskrev snävrare gränser. Dessa senare regler från Vattenfall, som finns beskrivna i "Anvisningar för utförande och kontroll av jorrdammar" från 1958 [4], har funnits tillgängliga under huvudsakliga byggnadsperioden för svenska dammar.

Vattenfalls anvisningar från 1958, som i dagligt tal kallades "Jorrdammshandboken", tillämpades förutom av Vattenfall även av övriga kraftindustrin. Jorrdammshandboken gav dock inga anvisningar beträffande vilken del av materialet som reglerna skulle tillämpas på. Denna oklarhet fanns både för filtermaterialet och basmaterialet. Olika projektörer och kontrollanter tillämpade härigenom reglerna på allt ifrån totalsiktningskurvor inklusive grus och sten, till endast materialdelen mindre än 16 mm eftersom denna sikt oftast var den största som användes i fältlaboratoriet. I praktiken kom härigenom kornfördelningen för filtren att variera inom vida gränser för olika dammar och i en del fall tillät man att filtren hade ett icke specificerat relativt stort innehåll av grus och sten.

Förutom oklarheter i reglerna för filtergraderingen fanns på 1960- och 1970-talet en strategi att lägga huvudsakliga kontrollen på tätmaterialet. Vidare fanns på denna tid en tilltro till att moränen som användes i tätkärnan hade en "självläkande" förmåga, om läckage av någon anledning trots allt skulle uppstå. Om material till filtren var svårt att uppbringa i närheten av dammen gjordes ibland lättnader i specifikationerna för filtren. Detta accepterades eftersom filtren ansågs vara ett andra led i skyddet mot inre erosion.

3.2. Norska erfarenheter

Sambandet mellan nedströmsfiltrets kornfördelning och observerade rapporterade skador till följd av läckage framgår tydligt av en inventering som gjorts i Norge och redovisats av Kjærnsli vid SWEDCOLDs Temamöte om Dammsäkerhet i Storlien 1991, och i "Projekt damsäkerhet" [5] från Vassdragsregulansens Forening (VR).

Inventeringen visar kornstorleken D_{15} vid totalsiktning av filtret som funktion av dammens byggnadsår. Här framgår att kraven på nedströmsfiltrets kornfördelning höjts under senare år och att dammar som uppvisat "problem" nästan utan undantag är de dammar som har de grövsta filtren bland de undersökta och där kornfördelningen är markant högre än vad dagens krav tillåter.

3.3. Svenska erfarenheter och nuvarande filterkriterier

Under de senaste decennierna har åtskilliga dammar, bl a i Skandinavien och Nordamerika, som har moränkärnor skadats genom inre erosion. Detta har lett till ett ökat intresse för mekanismerna vid sådana förlopp. Därmed har också frågan om graderingskrav på erosionsföregående filter fått förnyad aktualitet.

Om i avsnitt 3.1 nämnda krav på D_{15} framräknas från basmaterialets finkorniga del och filtermaterialet har fullgod inre stabilitet, räcker kravet på D_{15} för att filtret skall fungera. För att man skall få en viss säkerhetsmarginal beträffande den inre stabiliteten krävs emellertid dessutom, att filtermaterialet dels inte är alltför månggraderat, dels har en begränsad stenstorlek så att risken för separation blir liten.

Under senare år har många dammar med tät kärnor av månggraderad tätjord råkat ut för koncentrerade läckor och inre erosion. Orsaken synes primärt vara att nedströmsfiltren varit alltför grovkorniga, beroende antingen på att stenseparation inte kunnat undvikas under fyllningsarbetets gång eller på att filtermaterialet i sig varit för grovt. Kontrollen av arbetet i samband med byggandet har här varit av stor betydelse. Allmänt gäller, att tät kärnor av månggraderad morän kräver finkornigare filter än vad tidigare filterregler föreskrivit, varför filterkraven skärpts i detta avseende.

Nu gällande anvisning för dimensionering av filter finns redovisade i handboken "Jord- och stenfyllningsdammar", Vattenfall 1988, [6]. Anvisningarna tillämpas allmänt även av privata kraftindustrin. Ett utdrag visas i bilaga 2. Anvisningarna bygger på normalt godtagna kriterier som utvidgats till att omfatta även senare rön, framför allt undersökning av Sherard, jämför [2] och [3].

Det kan observeras att vid tillämpning av dessa nya regler används kornfördelningskurvan för allt material för filtret (totalsiktningsskurvor), medan för tätjorden medräknas endast kornfördelningen för material <20 mm. Beroende på mängden finmaterial i basmaterialet gäller olika regler. Till tätjord i svenska dammar har oftast använts moräner, som åtminstone i vissa delar, innehåller ca 30% finmaterial (halt av material <0,6 mm, räknad på material <20 mm). Kriteriet att $D_{15 \max}$ skall vara <0,7 mm blir härigenom oftast dimensionerande.

För att undvika separation, dvs stenanhopningar i samband med fyllningsarbetena, anger reglerna att maximala stenstorleken i filtret skall begränsas till 60 mm. Vidare får inte materialet vara språnggraderat och inte ha flackare gradering än $D_{60}/D_{10} = 30$. Dessa regler medför att filtermaterialet i större utsträckning än tidigare behöver maskinsorteras. Det bör här noteras att detta är en skärpning i förhållande till tidigare praxis, men att det är relativt vida gränser i jämförelse med internationella regler. Bureau of Reclamation tillåter t ex att motsvarande filter har maximum $D_{90} = 25$ mm, se [7], vilket skall jämföras med ovan nämnda 60 mm som tillåts enligt de svenska anvisningarna.

Reglerna kan för svenskt praktiskt bruk i de flesta fall, där tätkärnan utgörs av morän, ersättas med fasta gränsvärden. För nedströmsfiltret närmast tätkärnan gäller då oftast följande kornfördelning $D_{15} = 0,2 - 0,7$ mm, $D_{50} < 6$ mm, $D_{\max} < 60$ mm. I de fall då D_{15} är i närheten av den undre gränsen är det viktigt att materialet konstateras vara kohesionsfritt.

4. RESULTAT

4.1. Allmänt

Uppgifterna från VBB Anläggnings arkiv och Vattenfalls arkiv redovisas nedan i **bilaga 3** och **4**. Resultat från fältundersökningar av nedströmsfiltret hos fem dammar i Umeälven, som Vattenregleringsföretagen i Östersund låtit genomföra, har sammanförts med uppgifterna från arkivinventeringarna.

4.2. Information från VBB Anläggnings och Vattenfalls arkiv

Vid arkivinventeringen på VBB Anläggning och Vattenfall hittades kornfördelningskurvor för utlagt nedströmsfilter från 24 respektive 20 anläggningar. Vid några av anläggningarna ingår flera dammar, vilka redovisas var för sig eftersom filtermaterialen är olika. Vidare har vid några av dammarna gjorts efterprovningar i samband med undersökningar av skador som inträffat på senare år. Resultat från dessa undersökningar har då också redovisats separat. Inventeringen har härigenom totalt kommit att omfatta 51 uppgifter om kornfördelningen för nedströmsfilter.

Resultaten från inventeringarna framgår i tabellform i bilaga 3. I tabellen framgår bl a $D_{15\max}$ enligt siktkurva. Det bör noteras att kornfördelningen hos nedströmsfiltret oftast representeras av en kurvskara från provningar i samband med byggandet. I tabellen har då angivits kornstorleken för den grövsta siktkurvan i skaran. I valet har dock bortsetts ifrån enstaka "udda" kurvor.

I bilaga 3 anges vidare största siktade korndiameter. I vissa fall finns uppgifter om hur många procent av provet som var större än största siktade diameter. $D_{15\max}$ har i dessa fall korrigerats för att representera hela provet. I de flesta fall saknas dock information om mängden grovt grus och sten, eftersom dessa delar av materialet oftast inte tagits med vid provtagningen.

Sammanställningen visar att $D_{15\max}$ för nedströmsfiltret som väntat varierar stort mellan olika dammar. Vidare kan konstateras att de flesta dammarna har filter där $D_{15\max}$ är större än 0,7 mm, vilket är det största värde som skulle rekommenderas enligt nuvarande filterregler. Vidare indikerar sammanställningen att filtren i en del fall innehåller en stor mängd grovt grus och sten, som på grund av risk för separation vid utläggningen inte tillåts i nuvarande anvisningar.

Av informationen framgår att maxvärdena, trots att de i vissa fall som ovan nämnts korrigerats, oftast är hämtade från siktningar av material mindre än 16 mm. Kornstorlekarna från totalsiktningar (som föreskrivs i nuvarande filterregler) kan därför antas vara ytterligare högre. Från informationen kan man härigenom inte säkert dra slutsatsen att filter som i diagrammet markerats ha $\max D_{15} < 0,7$ mm uppfyller nuvarande filterregler. Eventuella samband som från denna inventering möjligen kan utläsas mellan kornstorleken på nedströmsfiltret och eventuella konstaterade skador på grund av inre erosion i tåtkärnan blir härigenom osäkra.

I bilaga 4 visas värdena på D_{15max} , som ibland korrigerats enligt ovan, mot dammens färdigställningsår. Någon trend i resultaten beroende på dammens ålder kan knappast noteras.

4.3. Samband mellan sjunkgropar/läckage och nedströmsfiltrets kornfördelning

Inom detta projekt har inte gjorts någon systematisk genomgång av vilka dammar som uppvisat problem i form av läckage eller sjunkgropar, som möjligen kan ha ett samband med alltför grova nedströmsfilter.

Av anläggningarna från VBB Anläggnings arkiv är det, trots avsaknad av systematisk genomgång, känt att dammarna i Rengård (16), Hällby (30) och anslutningsdammen vid Grundsjön (46) varit utsatta för skador, jämför bilaga 5. Dessa tre dammar har alla grova nedströmsfilter med kornstorleken D_{15max} på respektive 1,5 mm, 1,3 mm och 2,0 mm. Den största siktade diametern var i dessa fall 200 mm, 128 mm och 64 mm, varför kornstorlekarna kan antas representera värden från totalsiktningar.

Trots osäkerheten i resultaten i de fall där endast material mindre än 16 mm är testade kan noteras att flera av de anläggningar som har kornstorlekar som är bland de grävsta av de filter som inventerats av Vattenfalls dammar har varit utsatta för läckage och/eller sjunkgropar. Suorva Östra (1) och (2), Porjus (7) och Bastusel (14) är exempel på sådana dammar, jämför bilaga 5 där skadorna finns beskrivna. Dessa tre dammar har alla grova nedströmsfilter med kornstorleken D_{15max} på 2,4 mm, 1,4 mm respektive 1,6 mm.

Det kan noteras att vid de kortfattade beskrivningarna av skadorna i ovan nämnda dammar har det i fem av de sex fallen angetts att defekter i nedströmsfiltret eller det allmänt grova nedströmsfiltret varit en bidragande orsak till skadorna. Denna filterinventering indikerar också att det kan finnas ett samband mellan denna typ av skador och alltför grova nedströmsfilter även för andra dammar. Alltför stort steninnehåll i filtermaterialet, som medfört separation vid utläggningen, bedöms vara den vanligaste orsaken till defekter i filtret.

Skador på dammar inträffar dock många gånger på grund av en kombination av flera orsaker. Vidare finns flera exempel på dammar med finkorniga filter, som trots det blivit utsatta för sjunkgropar. Man kan här fråga sig om filtren vid skadestället varit grövre, eller innehållit sten som inte framgår av provningsresultaten. Det finns därför inga självklara och entydiga samband, varför eventuella skador på dammar alltid behöver utredas för sig. Dammar med grova filter bör man dock vara särskilt vaksam på.

5. SLUTSATSER

Inventeringen av kornstorleken för nedströmsfiltret hos svenska dammar visar ingen trend som är beroende av byggnadsår, vilket inte heller kan förväntas eftersom nu gällande regler för dimensionering av filter tillkom först 1988, [6].

Allmänt kan noteras att kornstorleken $\max D_{15}$, som uppmäts vid de flesta anläggningarna, inte uppfyller nu gällande filterregler. Vid några av anläggningarna kan dessutom konstateras att största stenstorleken för filtermaterialet är större än 60 mm, vilket är övre gränsen i nu gällande anvisningar. Informationen om steninnehållet i filtret är dock osäker, eftersom för många anläggningar saknas uppgifter om mängden filtermaterial större än 16 mm.

I detta projekt har inte gjorts någon systematisk genomgång av vilka dammar som uppvisar problem i form av läckage eller sjunkgropar, som möjligen kan ha ett samband med alltför grova filter. Anläggningar där det är känt att sådana "problem" inträffat förefaller dock ha kornstorlekar som är bland de grövsta av de filter som inventerats.

Med anledning av att kraven enligt nya filterreglerna inte uppfylls, föreslås i dessa fall ökad vaksamhet vid tillsyn, inspektion och besiktning för tidig upptäckt av begynnande inre erosion och läckage och i många fall kan ökad instrumentering rekommenderas – i första hand läckagemätning. Vid fyllningsdammarna, där den totala stabiliteten inte är säkerställd vid stora läckage, kan utläggning av en tryckbank av sprängsten på nedströmssidan övervägas för att öka stabiliteten.

6. REFERENSER

- [1] *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Terzaghi & Peck, New York, 1948.
- [2] *Basic Properties of Sand and Gravel Filters*, Sherard, Dunnigan, Talbot, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, June 1984.
- [3] *Filters and Leakage Control in Embankment Dams*, Symposium on Seepage and Leakage from Dams and Impoundments, ASCE, May 1985.
- [4] *Anvisningar för utförande och kontroll av jorddammar*, Vattenfall, mars 1958.
- [5] *Sikkerhet av fyllningsdammer mot lekkasjebrutt*, Prosjekt damsikkerhet. Rapport nr 3, Vassdragsregulants Forening, Januar 1992.
- [6] *Jord- och stenfyllningsdammar*, Handbok från Vattenfall, 1988.
- [7] *Embankment Dams, Protective Filters, Design Standards No 13*, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, May 1987.

7. BILAGOR

Bilaga 1. Arkivuppgifter om material i dammens nedströmsfilter och stödfyllning (inventeringsblankett)

Bilaga 2. Regler för dimensionering av filter

Bilaga 3. Sammanställning av kornfördelning för nedströmsfiltret i fyllningsdammar

Bilaga 4. Sammanställning av D_{15} -filter mot färdigställningsår

Bilaga 5. Exempel på dammar med skador i form av läckage och/eller sjunkgröpar

ARKIVUPPGIFTER OM MATERIAL I DAMMENS NEDSTRÖMSFILTER OCH STÖDFYLLNING

(blanketten ifylld med ett exempel)

1. **Anläggning:** Stenkullafors
2. **Älv:** Åseleälven
3. **Färdigställningsår:** 1983
4. **Typ av damm:** Jordfyllningsdamm
5. **Nedströmsfilter:**
 - a. **Material (natur- eller krossmaterial):** Naturgrus
 - b. **Kornfördelning:** D_{15} varierar mellan 0,3 och 1,5 mm, D_{50} varierar mellan 8 och 20 mm
 - c. **Maximal siktad diameter:** 100 mm (allt material < 200 mm)
 - d. **Uppskattad halt av material över största siktad korndiameter:** $\approx 10\%$
6. **Stödfyllning:**
 - a. **Material (naturmaterial eller sprängsten):** Naturgrus
 - b. **Kornfördelning (finns uppskattning av D_{50}):** Varierar mellan 16 och 75 mm
7. **Anmärkning (Uppgiftskälla, bedömning av tillförlitligheten etc):**

Nedströmsfilter: sammanställning av gränser för siktcurvor för vänster jorddamm, daterad 1982-09-10.
8. **Datum för inventering:** 1992-10-23
9. **Inventerare (namn, företag):** Åke Nilsson, VBB, tfn 08-695 62 27

Definitioner

d = korstorlek hos basmaterial (tätjord enligt laboratoriesiktning < 20 mm, finfilter enligt totalsiktning)

D = korstorlek hos filtermaterial (enligt totalsiktning vanligen finfilter < 80 mm, grovfilter < 100 mm)

finjordshalt = halt av material < 0,06 mm, räknad på material < 20 mm.

Filterregler

Basmaterial

med finjordshalt < 30 %

med finjordshalt 30–60 %

$$4 < D_{10}/d_{15} < 40^*$$

$$4 < D_{10}/d_{15}$$

$$D_{10}/d_{85} < 4^{**}$$

$$D_{15} < 0,7 \text{ mm}$$

$$D_{20}/d_{20} < 25$$

$$D_{20}/d_{50} < 25$$

$$D_{\max} < 60 \text{ mm}$$

$$D_{\max} < 60 \text{ mm}$$

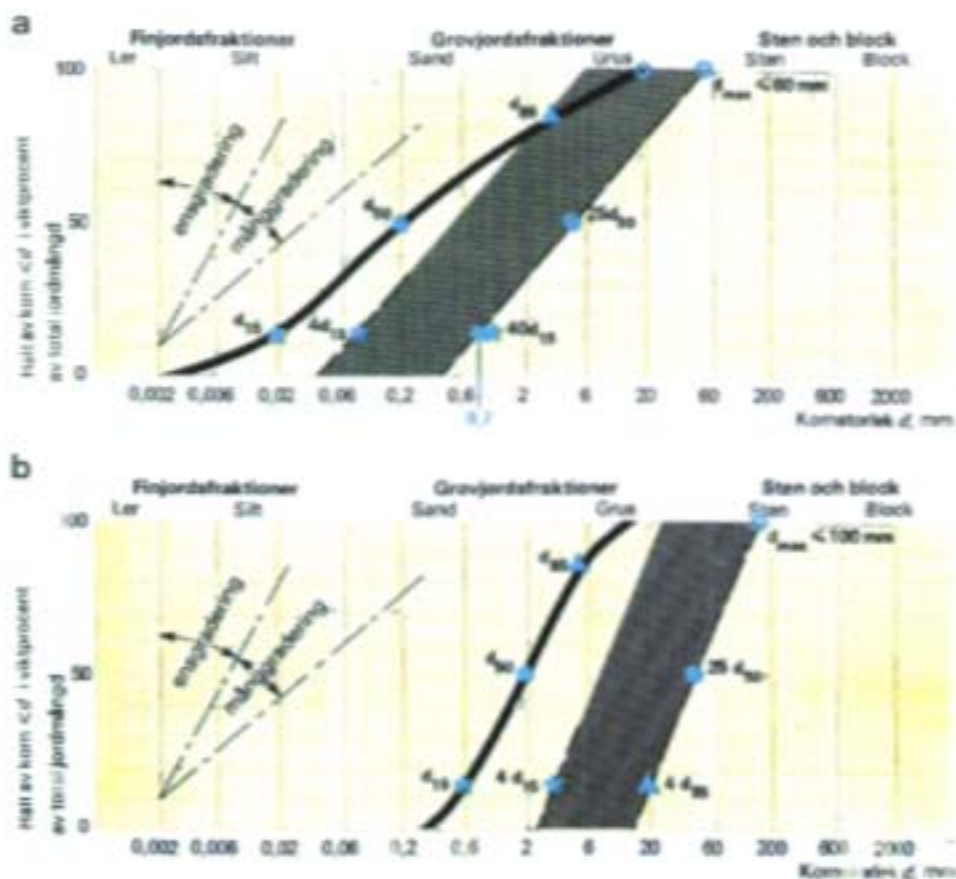
* detta krav avgörande för månggradat basmaterial

** detta krav avgörande för ensigraderat basmaterial

För tätjord räknas korndelning på material < 20 mm, under det att allt material medräknas för filter (totalsiktning).

Om spränggradering föreligger hos basmaterialet, medräknas endast den finare fraktionen.

Filtermaterial får inte vara spränggraderat och inte ha flackare gradering än $D_{20}/D_{10} = 30$. Det skall vara kohesionslöst (sandkalkprov).



Filterregler enligt Jord- och Stenfyllningsdammar, Vattenfall 1988.

Diagram a visar korngredning för finfilter mot tätjord.

Diagram b visar korngredning för grovfilter mot finfilter.

**SAMMANSTÄLLNING AV KORNFÖRDELNING FÖR NEDSTRÖMSFILTER
I FYLLNINGSDAMMAR**

Beteckningar:

SF = stenfyllningsdammar

JF = jordfyllningsdammar

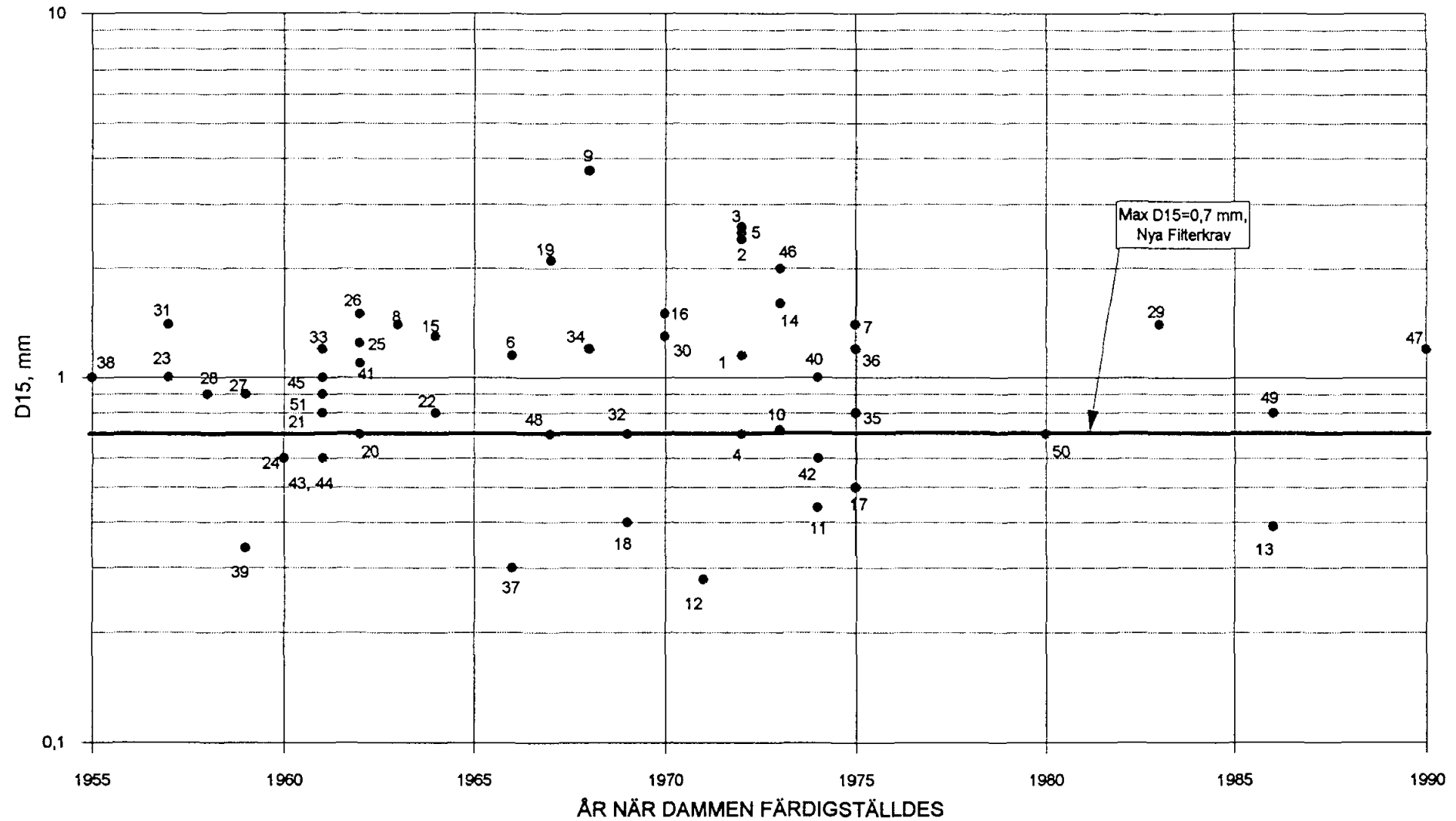
Älv och anläggning samt nummer i inventeringen	Färdigställningsår	Damm-typ	D _{max} siktat mm	D _{15max} enl sikt-kurva mm	Material > D _{max} siktat %	D _{15max} korrigerat mm	Anmärkning
Luleälven							
(1) Suorva Östra	1972	SF	16	0,8	41	1,15	Byggnadstiden
(2) Suorva Östra	1972	SF	200	2,4	-	-	Efterprovning 1987 (provgropar)
(3) Suorva Västra	1972	SF	16	1,7	39	2,6	Byggnadstiden
(4) Suorva Västra	1972	SF	80	0,7	?	-	Efterprovning 1987 (borrprover)
(5) Suorva Sågviksdammen	1972	SF	16	1,6	29	2,5	Byggnadstiden
(6) Satisjaure	1966	SF	16	1,1	?	-	
(7) Porjus	1975/80	SF	16	1,2	35	1,4	
(8) Messaure	1963	JF	64	1,4	-	-	
(9) Seitevare	1968	SF	16	3,1	30	3,7	
(10) Akkats	1973	SF	16	0,6	16	0,7	
(11) Vittjärv, högra	1974	SF	16	0,4	?	-	
(12) Boden	1971	JF	16	0,3	?	-	
Skellefteälven							
(13) Sädva	1986	SF	200	0,4	-	-	
(14) Bastusel	1973	SF	16	1,6	?	-	
(15) Gallejaur	1964	SF	16	1,3	?	-	
(16) Rengård	1970	JF	200	1,5	-	-	
(17) Selsfors	1944/75	JF	128	0,5	-	-	

Älv och anläggning samt nummer i inventeringen	Färdigställningsår	Damm-typ	D _{max} siktat mm	D _{15max} enl sikt-kurva mm	Material > D _{max} siktat %	D _{15max} korregerat mm	Anmärkning
Umeälven							
(18) Abelvattnet	1969	SF	16	0,4	?	-	
(19) Ajaure	1967	SF	32	2,1	?	-	
(20) Gardiken	1962	SF	64	0,7	-	-	
(21) Storjuktan	1963	JF	64	0,8	-	-	
(22) Överuman	1964	JF	16	0,8	?	-	
(23) Storuman	1961	SF	16	1,0	?	-	
(24) Stensele	1960	JF	16	0,6	?	-	
(25) Rusfors	1962	JF	16	1,2	?	-	
(26) Tuggen	1962	JF	16	1,5	?	-	
(27) Bjurfors nedre	1959	JF	64	0,9	-	-	
(28) Stornorr-fors	1958	SF	16	0,8	25	0,9	
Ångermanälven							
(29) Stenkullafors	1983	JF	200	1,4	-	-	
(39) Hällby	1970	JF	128-200	1,3	-	-	
(31) Lasele	1957	SF	64	1,4	?	-	
(32) Dabbsjö	1969	SF	64	0,7	?	-	
(33) Korselbränna	1961	JF	64	1,2	?	-	
(34) Moforsen	1968	JF	128	1,2	-	-	

Älv och anläggning samt nummer i inventeringen	Färdigställningsår	Damm-typ	D _{max} siktat mm	D _{15max} enl sikt-kurva mm	Material > D _{max} siktat %	D _{15max} korregerat mm	Anmärkning
Indalsälven							
(35) Olden 1	1975	SF	64	0,8	?	-	
(36) Olden Mjölkvattnet	1975	JF	64	1,2	?	-	
(37) Håckren	1966	JF	32	0,3	?	-	
(38) Nävereds	1955	JF	16	0,9	14	1,0	
(39) Järkvissle	1959	JF	16	0,3	?	-	
Ljungan							
(40) Flåsjön	1974	JF	64	1,0	-	-	
(41) Hermansboda	1962	JF	200	1,1	-	-	
(42) Trångfors	1974	JF	64	0,6	-	-	
Ljusnan							
(43) Långströmmen, damm 03	1961	JF	200	0,6	-	-	
(44) Långströmmen, damm 04	1961	JF	200	0,6	-	-	
(45) Långströmmen, damm 05	1961	JF	200	1,0	-	-	
(46) Grundsödammen, anslutning	1973	JF	64	2,0	-	-	
(47) Smedjemorasjön	1990	JF	64	1,2	-	-	

Älv och anläggning samt nummer i inventeringen	Färdig- ställ- ningsår	Damm- typ	D _{max} siktat mm	D _{15max} enl sikturva mm	Material > D _{max} siktat %	D _{15max} korrigerat mm	Anmärkning
Oreälven							
(48) Vässinkoski	1967	JF	64	0,7	?	-	
(49) Noppikoski	1986	JF	64	0,8	?	-	
Dalälven							
(50) Näs	1980	JF	32	0,7	-	-	
Klarälven							
(51) Höljes	1961	JF/SF	200	0,9	-	-	

SAMMANSTÄLLNING AV D15-FILTER MOT DAMMENS FÄRDIGSTÄLLNINGSÅR



EXEMPEL PÅ DAMMAR MED SKADOR I FORM AV LÄCKAGE OCH/ELLER SJUNKGROPAR

Suorva (1) och (2)

Mest känt är läckaget i Östra dammen, vilket inträffade i oktober 1983. Inre erosion genom tåtkärnan (initierad genom ojämna sättningar, hydraulisk spräckning eller vidgade sprickor i berggrunden omedelbart under tåtkärnan) bedöms vara orsaken till det grumliga läckaget och en sjunkgrop som uppstod i dammkrönet i samband med läckaget. Ett omfattande undersökningsprogram med åtföljande åtgärdsprogram avslutades 1987. Bristande filterfunktion bedömdes vara en förutsättning för utvecklingen av läckaget och sjunkgropen.

Sjunkgropar och sättningar i mindre skala har i samma damm erhållits 1989. Förändringarna bedömdes bero på läckage och materialtransport utmed installationer i dammen som isotoprör och grundvattenrör.

Injekteringsåtgärder har vidtagits i skadeområdena från 1983 och 1989.

1991 erhöles ett nytt grumligt läckage utan att läckvägen kunde klarläggas. Läckaget upphörde genom självläkning dock utan att någon sjunkgrop utbildades. Någon lokal defekt i nedströmsfiltret bedömdes vara en förutsättning för händelseutvecklingen.

Ökad instrumentering med bl a kontinuerlig läckagemätning har genomförts och varit i drift sedan 1988. Vidare utförs mätningar regelbundet av vattenstånd, porttryck och temperatur i borrhål på östra dammen.

Porjus (7)

Sjunkgrop i dammens krön mot uppströmssidan erhöles 1985. Bedömdes att uppströmsfiltret eroderat och hållighet i dammen uppstått genom valvverkan. Då valvet bröts erhöles sjunkgropen som gick upp till dammkrönets nivå.

I samma sektion och i samma läge erhöles hösten 1993 ånyo en sjunkgrop i dammkrönets uppströmssida. Undersökningar utfördes omfattande bl a georadar, borrhning med provtagning och mellanhålsradar samt temperaturmätningar. Med ledning av resultaten från dessa lokaliserades läckagevägarna till dels ett område genom tåtkärnan, dels till kontaktzonen mellan tåtkärna och berg. Bristande nedströmsfilter bedömdes ha möjliggjort händelseutvecklingen.

Injektering har genomförts av tåtkärnan vid skadeställena.

Bastusel (14)

Läckage genom dammens vänstra del har varit föremål för uppföljning sedan dammen färdigställdes. Läckaget har trots tätningsarbeten i form av injektering och utläggning av panur ej kunnat stoppas helt.

Under sommaren -93 orsakade läckage genom dammen på höger sida en mindre översvämning av ställverksområdet nedströms dammen. Under den följande hösten erhöles en sjunkgrop och sättningar i dammen på denna sida.

Ett undersökningsprogram omfattande georadarundersökning i form av reflexionsradar, borrhning med provtagning, spårämnesinjicering med användande av vägsalt, mätning av vattentemperaturen i borrhål, magasin och mätöverfall samt grundvattenobservationer har slutförts under -93.

Resultaten av undersökningarna gav indikationer på att läckagevägarna genom dammen var dels genom tät kärnan på ca 10 m djup under dämningssgränsen, dels genom den naturliga morän och berggrunden som dammen är grundlagd på.

Möjligen har läckaget startat i berget under naturlig morän och sedan ätit sig uppåt och slutligen gett läckage också genom tät kärnan. Brister i nedströmsfiltret har troligen möjliggjort händelseutvecklingen.

Tättningsåtgärder har genomförts genom injektering i tät kärnan och underliggande berg.

Rengård (16)

En första reparation utfördes 1980. Då uppstod en sjunkgrop (Φ 1,7 m djup 1,2 m) på vänster sida vid uppströmskanten av tät kärnan och sedimentfärgat läckage ≈ 700 l/min noterades. Läckaget tätades med hjälp av injektering i tät kärnans uppströmskant, där en s k tätskärm injekterades och läckaget upphörde.

Under sommaren 1993 upptäcktes en ny sjunkgrop (Φ 1,2 m djup 0,3 m) i samma område och nu mitt i tät kärnan. Samtidigt upptäcktes också en insjunkning vid monoliten på samma sida. Undersökning och provtagning visade att material eroderat ut från tät kärnan och att kärnan är skadad och porös på olika nivåer. Vid borrhningar upptäcktes skador närmast monoliten, där porösa partier och håligheter förekom i tät kärnan närmast berget. Skadorna är troligen orsakade av inre erosion nedströmsåt och brister i filtret var en förutsättning för skadeförloppet.

Förändringarna i dammen ledde till att ökad tillsyn och läckagekontroll vidtogs. Vidare avsänktes magasinet som en säkerhetsåtgärd. Förstärkningar har därefter genomförts genom stabilisering av nedströmstån med en stödbank, samt tätning av berget och tät kärnan med injektering.

Hällby (30)

Dammen färdigställdes 1970 och 1985 inträffade en sjunkgrop vid anslutningen mellan betongdammen och jorddammen. Sjunkgropen var lokaliserad till uppströmsslänten av dammen. Orsaken till gropen bedömdes vara att finmaterialet i tätjorden eroderat bort genom i berget förekommande sprickor och krosszoner, som successivt öppnats till följd av genomläckande vatten.

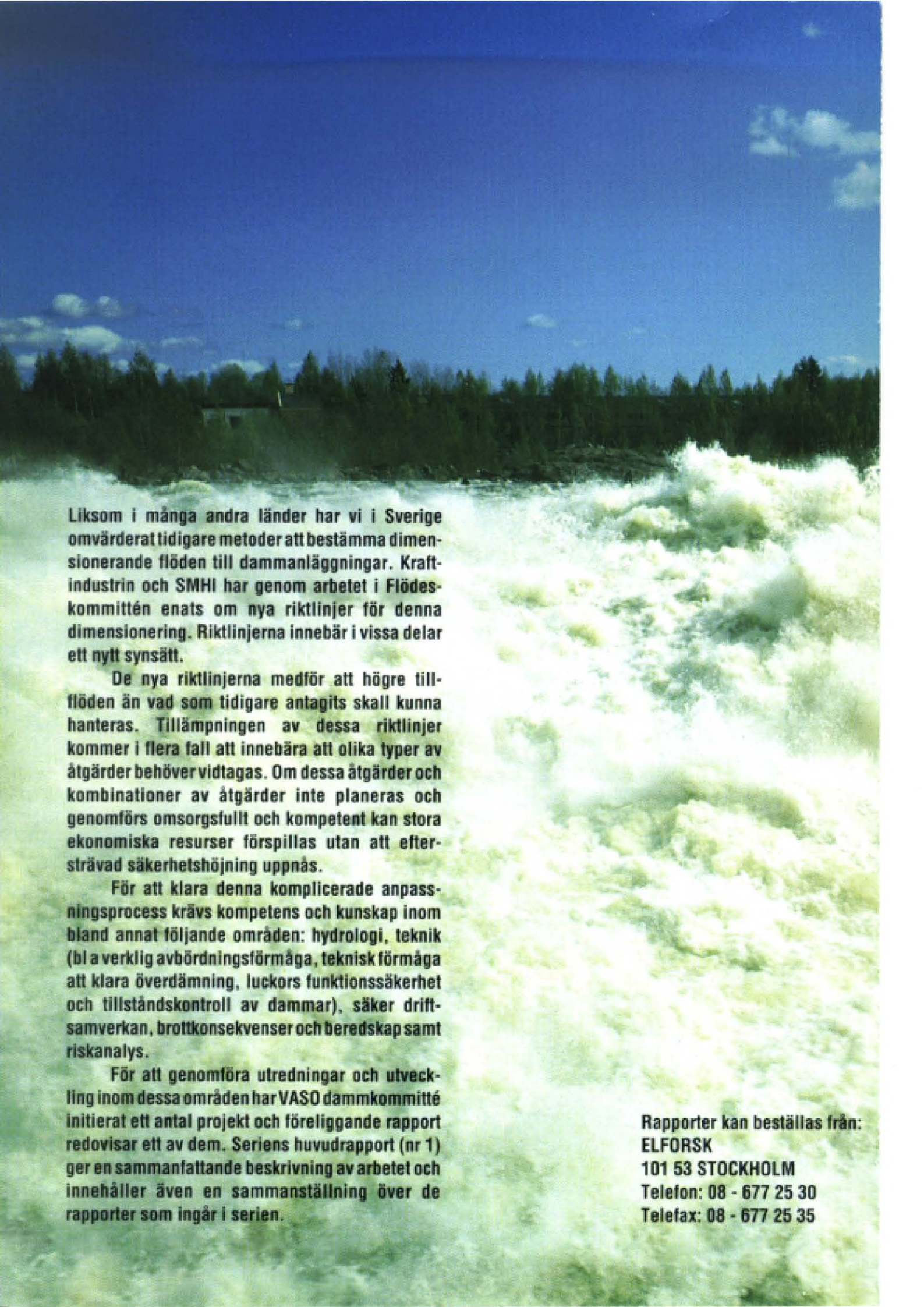
Injektering genomfördes av berg och tät kärna vid båda jorddammsanslutningarna.

Grundsjödammen (46)

En sjungkrop uppstod 1990 i en anslutningsdamm till huvuddammen. Efter undersökningar genom provborrning och porttrycksmätningar bortschaktades det skadade dammpartiet under samtidig inspektion. Det framkom därvid att i "nedströmsfiltret" ställvis förekom ansamlingar av stenblock upp till ca 0,5 m storlek, trots att maximala stenstorleken enligt specifikationerna skulle vara 50 mm.

Skadan bedömdes ha uppkommit på grund av inre erosion med läckage som följd. Nedströmsfiltret har i skadepunkten inte förmått hindra finmaterialet i tätjorden att successivt erodera ut genom filtret.

Det skadade partiet av dammen byggdes om. Vidare ökades planmässiga tillsynen samt övervakningen genom att bygga en dränageledning som försågs med läckagemätning.



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 eftersträvad 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