

**ELFORSK**



# **DAMMSÄKERHET**

## **Inre erosion i svenska dammar**

Beskrivning och utvärdering av rapporterade sjungropar

**Rapport 99:34**



# **Inre erosion i svenska dammar**

## **Beskrivning och utvärdering av rapporterade sjunkgropar**

### **Elforsk rapport 99:34**



# **Inre erosion i svenska dammar**

## **Beskrivning och utvärdering av rapporterade sjunkgropar**

### **Elforsk rapport 99:34**

Åke Nilsson och Ingvar Ekström, SwedPower AB  
samt Carl-Olof Söder, VBB Anläggning AB



## Förord

BC Hydros W.A.C. Bennett damm i British Columbia, Kanada, är en 183 m hög och ca 2000 m lång jorddamm som dämmer upp en ca 30 mil lång sjö med en regleringsvolym av 70 miljarder m<sup>3</sup> vatten.

Två sjungropar uppstod under juni respektive september 1996 i Bennett-dammen. Man beslöt tillsammans med delstatens dammsäkerhetsmyndighet att magasinsnivån omedelbart skulle sänkas. Därefter startade omfattande undersökningar av dammen både med mer beprövade metoder samt med nyare metoder som legat i forskningens framkant.

Hösten 1996, i anslutning till det inträffade, beslöts det att ett utvecklingssamarbete skulle starta mellan BC Hydro och svensk kraftindustri med inriktning på dammsäkerhetsfrågor kopplade till inre erosion, sjungropar och reparationsmetoder.

Utvecklingssamarbetet har varit mycket givande för båda parter. Det var ett unikt tillfälle att direkt kunna få tillgodogöra sig resultatet av de mycket omfattande utrednings-, undersöknings- och FoU-insatser på högsta internationella nivå. Genom detta utbyte har ett antal rapporter från svensk sida tagits fram, bl.a. den föreliggande. I detta samarbete har Urban Norstedt, Vattenfall Vattenkraft, och Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen, utgjort styrgrupp för VASO Dammkommitté och kraftindustrin och finansierande företag har varit alla medlemmar i Svenska Kraftverksföreningen.

Föreliggande projekt, som beskriver och utvärderar skadefall med inre erosion som inträffat i svenska fyllningsdammar, har genomförts av Åke Nilsson och Ingvar Ekström, SwedPower AB. Vidare har Maria Bartsch, J&W, medverkat med beskrivningen för anläggningen i Messaure som ingår i bilagan med ”Beskrivningar av dammar där sjungropar rapporterats”. I inledningsskedet av projektets genomförande har även Carl-Olof Söder, VBB Anläggning AB, medverkat.

Stockholm i december 1999

Elforsk AB





## Sammanfattning

I Sverige har inga dammbrott inträffat på grund av inre erosion (räknat på samma sätt som ICOLDs statistik på dammar högre än 15 m). Under årens lopp har dock sjunkgropar rapporterats i ett flertal svenska fyllningsdammar. Groparnas storlek har varierat inom vida gränser, från smågropar med några decimeters diameter och djup till mycket stora gropar med en volym upp till i storleksordningen 30 m<sup>3</sup>.

I VASO-rapport nr 16 presenteras en inventering av förändringar i svenska fyllningsdammar. Vid inventering rapporterades sjunkgropar i 27 dammar. En systematisk genomgång av uppgifter om dessa dammar har genomförts i föreliggande rapport.

Det har noteras att det inte finns något klart samband mellan det totala antalet byggda dammar och andelen dammar utsatta för inre erosion. För dammar som färdigställdes under perioden 1970 till 1975, då 21 dammar färdigställdes, finns en markant stor mängd dammar som erhållit sjunkgropar. I 10 av dessa dammar upptäcktes sjunkgropar, dvs i nära hälften av antalet färdigställda dammar under denna period.

Får att undersöka vilken inverkan nedströmsfiltrets kornstorlek har  $D_{15}$ -mättet har en sammanställning gjorts av  $D_{15}$  både för dammar där sjunkgropar rapporterats som indikerar inre erosion och för dammar som inte uppvisat några sådana skador. Resultatet visar att dammar som byggdes 1970 till 1975 i allmänhet har grövre filter i jämförelse med dammar som färdigställdes under tidigare år. Vidare framgår att flera av dessa dammar med grövre filtermaterial har uppvisat skador i form av sjunkgropar.

Orsaken till groparna bedöms oftast vara otillfredsställande projektering eller byggande.

I flertalet fall där sjunkgropar rapporterats finns ett samband med **otillräckligt filter** nedströms tatkärnan. Följande faktorer har noteras utgöra bristerna i filterverkan:

- I några fall finns endast ett filter mellan tatkärnan av morän och stödfyllningen av sprängsten. Den stora skillnaden i korngradering mellan dessa båda material gör att minst två filter är nödvändiga enligt nuvarande riktlinjer.
- Ofta har filtret tillåtits innehålla en okänd mängd sten, vilket medförde en risk för att filtermaterialet separerade vid utläggningen. Mer restriktiva regler planeras därför i de kommande tillämpningsföreskrifterna till Kraftindustrins riktlinjer för dammsäkerheten (RIDAS), som nu är under utarbetande.
- Filtret innehåller, i flertalet studerade fall, inte tillräcklig mängd fint material, för att kunna hålla kvar finmaterialet i tätjorden av morän. Enligt nuvarande regler skall filtermaterialet i de flesta fall innehålla minst 15% material mindre än 0,7 mm.

Otillräcklig filterverkan kan medföra ”piping” i tatkärna, dvs finmaterial från moränen i tatkärnan börjar transporteras ut i nedströmsfiltret. Erosionen arbetar sig mot uppströmssidan och när den når uppströmsfiltret ökar läckaget och materialtransporten accelererar, varvid ”materialbrist” kan uppstå i filtret. Underskottet av material kan leta sig uppåt i filterlagret som successivt rasar samman och utbildar sjunkgropar när förloppet når

dammkroppens yta. Vanligtvis inträffar sjunkgropar på uppströmssidan av dammkrönet i filterzonens förlängning.

I flera fall där sjunkgropar uppstått på befintliga dammar har groparna endast fyllts igen och en viss ökad övervakning införts. Om konsekvenserna för ett eventuellt dammbrott är stora rekommenderas att **fältundersökningar** påbörjas för att klarlägga orsakerna till inträffade skador.

En **ökad instrumentering** rekommenderas för fyllningsdammar i allmänhet och i synnerhet då särskilda förutsättningar finns för att inre erosion skall uppstå.

Vidare bör fyllningsdammar dimensioneras så att dessa är säkerställda vid varje rimligen möjligt läckage. Enligt "Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerheten (RIDAS)" skall dammar i konsekvensklass 1A och 1B dimensioneras för ett sådant läckage, som behöver bestämmas för varje damm. För en del dammar bedöms härigenom förstärkningar med en **nedströmstå av dränerande material**, eventuellt i kombination med dränageanordningar bli aktuella.

## Summary

### Sinkholes in Swedish embankment dams

The result of the inventory, presented in paper Q7, R20 for the Florence Congress 1997, shows that a total of 84 earth and rock-fill dams, of which 68 were higher than 15 m, had experienced some kind of ageing. The degree of deterioration varied to a great extent. The results presented in the above mentioned paper are shown in following table.

Type No	Deterioration types	Cases, Nos.
1	Leakage (foundation)	16
2	Leakage (dam body)	19
3	Slope protection damages	45
4	Abnormal movements (settlements or horizontal movements)	16
5	Internal erosion (foundation)	5
6	Internal erosion (dam body)	13
7	Instability (e.g. downstream or upstream slips)	5
8	Changes in the area between concrete structures and adjoining embankments	16
9	Abnormal changes in the drainage system or filters	1
10	Abnormal pore pressure changes in dam body or foundation	4
11	Changes in the grout curtain	1
12	Sinkholes in the dam crest or at the shoulders of the dam	27
13	Other types of deterioration	3

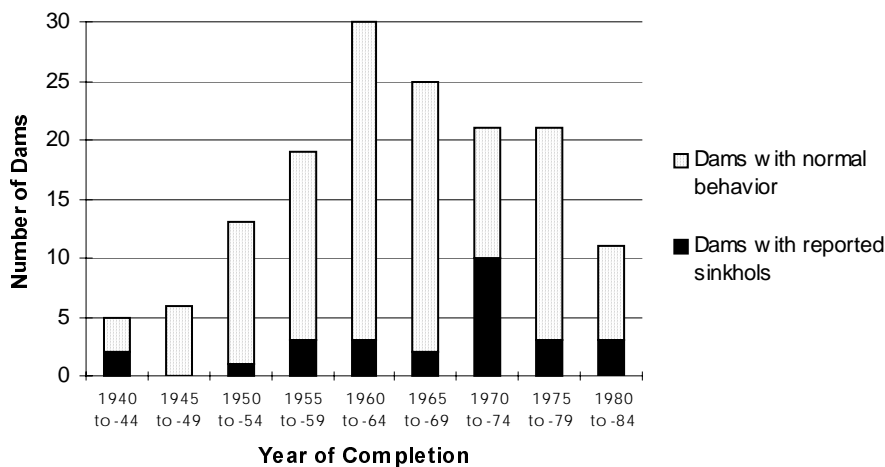
#### Inventory of ageing cases of Swedish dams

Information from the dams having experienced sinkholes (type 12 in the table) has been further described, and the reasons evaluated.

In the table there are 27 dams with reported sinkholes of varies kinds, from "pot holes" with a 0,5 m diameter to large sinkholes of some 15 to 30 m<sup>3</sup> in volume. Sinkholes are usually an indication of internal erosion in the dam body or in the foundation. Information from the cases has been compiled in order to study the reasons behind the sinkholes. Following factors have been found to have a correlation to the development of sinkholes:

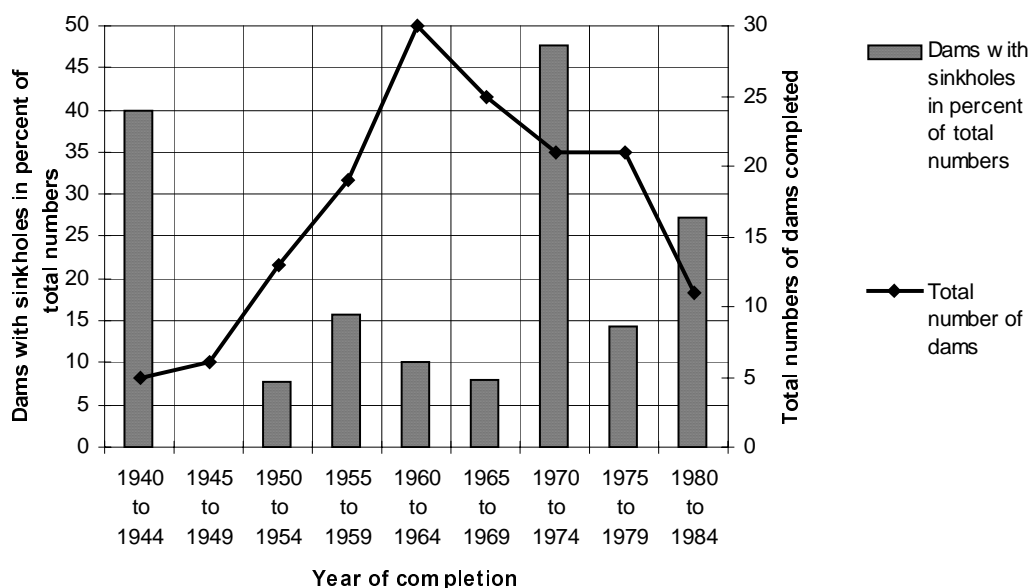
- The year of completion of the dam
- The grain size of the downstream filter

Other factors are also discussed e.g. the height of the dam, type of dam, and the critical are where the embankment dam is connected to a concrete structures such as a spillway pier.



**Year of completion for dams with reported sinkholes in comparison with the total number of dams completed in the same period**

The same information as in figure above can be presented as follows:

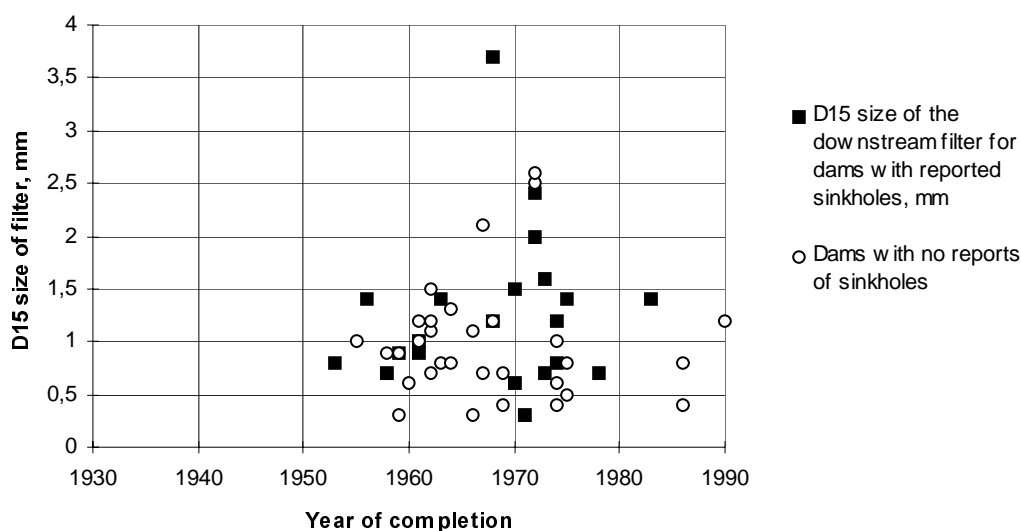


**Year of completion for dams with reported sinkholes in percent of the total number of dams completed in the same period**

In the period 1940 to 1945 only a few dams were constructed and the two dams reported with sinkholes from that period may have been a coincident. However, a large number of dams with reported sinkholes have been constructed in the period 1970 to 1974. There may be speculated why there are so many dams with reported sinkholes from that period. Poor design or construction can be assumed. The poor design may comprise too coarse filter downstream the core and the poor construction might be explained by two shifts

construction, as well as the use of larger equipment, became more common from that period.

An inventory of the grain size of the downstream filter was presented in the paper for the Florence Congress. The D<sub>15</sub> sizes of the filters were of special interest in the inventory, since this parameter has not clearly been specified in guidelines prior to 1988. The results are presented in the following figure:



#### Inventory of downstream filters in Swedish dams

The inventory shows that most dams have a courser D<sub>15</sub> size than the present filter criteria, which stipulates maximum 0.7 mm for moraines which have a large portion of fines, which is common in most cores. Also, courser filters were used in the period 1970 to 1974. There is also an indication that the dams with reported sinkholes are among the coarsest listed.

It is recommended that the instrumentation should be improved in general and especially for dams susceptible for internal erosion. In addition dams should be designed in order to be able to allow for a certain amount of leakage without failure. In the present Dam Safety Guidelines, it is required that a dam classified as a high hazard dam shall be able to withstand the maximum possible leakage that it can be expected to experience during its lifetime. This "design leakage" includes leakage that can occur as an incident several years after the start of normal operations. The leakage shall be assessed from calculations, or from experiences of similar dams. It is foreseen that the guidelines will result in a strengthening of some of the existing dams, with a stabilising berm along the downstream toe of the dam, possibly in combination with other drainage arrangements.

The philosophy of strengthening of the dam by adding a toe berm is that a leakage usually seals (or reduces significantly) by itself after a short time. The strengthening by a berm increases the time available for self healing, and gives time to perform e.g. strengthening works, lowering of the reservoir, or for emergency actions if these are called for.



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GENOMFÖRANDE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>UTVÄRDERING</b> .....	<b>5</b>
3.1	ALLMÄNT .....	5
3.2	DAMMARNAS FÄRDIGSTÄLLNINGÅR .....	5
3.3	NEDSTRÖMSFILTRETS KVALITET .....	7
3.3.1	<i>Filtrets innehåll av finmaterial, (D15-måttet)</i> .....	7
3.3.2	<i>Filtrets innehåll av grovt material, (D<sub>max</sub>)</i> .....	8
3.3.3	<i>Filtrets korngradering i förhållande till tätjorden, (D<sub>50</sub> / d<sub>50</sub>)</i> .....	8
3.4	DAMMHÖJD .....	9
3.4.1	<i>Allmänt</i> .....	9
3.4.2	<i>Dammhöjden för skadade dammar</i> .....	9
3.5	REGLERINGSHÖJDENS INVERKAN .....	10
3.6	ANDRA FAKTORER SOM KAN PÅVERKA UPPKOMSTEN AV SJUNGGROPAR .....	11
3.6.1	<i>Dammtyp</i> .....	11
3.6.2	<i>Våtpackning respektive torrpäckning av tätjorden</i> .....	12
3.6.3	<i>Sjunkgropar i anslutning melon betongkonstruktioner och fyllningsdamm</i> .....	13
<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>14</b>
4.1	ORSAKSSAMBAND .....	14
4.2	ÅTGÄRDER SOM VIDTAGITS MED ANLEDNING AV SJUNGGROPAR .....	15
4.3	REKOMMENDATIONER .....	15
<b>5</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>TABELLER</b> .....	<b>19</b>
	TABELL 2 DAMMAR SOM RAPPORTERATS HAFT SJUNGGROPAR .....	21
	TABELL 3 KORNFÖRDELNINGEN FÖR NEDSTRÖMSFILTER FÖR DAMMAR DÄR SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	22
	TABELL 4 KORNFÖRDELNINGEN FÖR MORÄN I TÄTKÄRNAN FÖR DAMMAR DÄR SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	23
	TABELL 5 KORNFÖRDELNINGEN FÖR MORÄN I TÄTKÄRNAN FÖR DAMMAR DÄR SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	24
	TABELL 6 KORNFÖRDELNINGEN FÖR NEDSTRÖMSFILTER FÖR DAMMAR DÄR INGA SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	25
<b>8</b>	<b>BILAGOR BESKRIVNINGAR AV DAMMAR DÄR SJUNGGROPAR RAPPORTERATS</b> .....	<b>26</b>
BILAGA 1	AKKATS .....	27
BILAGA 2	BASTUSEL .....	30
BILAGA 3	BODEN .....	34
BILAGA 4	GRUNDFORS .....	36

BILAGA 5	GRUNDSJÖARNA .....	37
BILAGA 6	HÅLLBY .....	39
BILAGA 7	HÖLJES .....	41
BILAGA 8	JUKTAN .....	42
BILAGA 9	KILFORSEN (IMNÄS) .....	45
BILAGA 10	LASELE .....	47
BILAGA 11	LENNINGE .....	48
BILAGA 12	LERINGSFORSEN .....	49
BILAGA 13	LÅNGBJÖRN .....	50
BILAGA 14	LÅNGHAG .....	53
BILAGA 15	LÅNGSTRÖMMEN .....	54
BILAGA 16	LÖVÖN .....	55
BILAGA 17	MESSAURE .....	57
BILAGA 18	NÄS .....	61
BILAGA 19	OLDEN, MJÖLKVATTNET .....	64
BILAGA 20	OLDEN, Ö OLDSJÖN .....	65
BILAGA 21	PORJUS .....	66
BILAGA 22	RENGÅRD .....	69
BILAGA 23	SEITEVARE .....	71
BILAGA 24	SMEDJEMORASJÖN .....	73
BILAGA 25	STENKULLAFORS .....	74
BILAGA 26	SUORVA ÖSTRA .....	77
BILAGA 27	ÅSELE .....	80



## 1 Bakgrund

Sjunkgropar är i de flesta fall ett tecken på att inre erosion i dammen har inträffat. Från internationell statistik över dammbrott framgår att inre erosion i dammkroppen, eller i dammens grundläggning, är den vanligaste orsaken till dammbrott för fyllningsdammar. Grovt räknat beror 1/3 av dammbrotten på inre erosion och ungefär lika stor del, dvs 1/3, på höga flöden som t ex ger överströmning. Resterande tredjedel av dammbrotten har mycket varierande orsaker.

Baserat på ICOLDs statistik är genomsnittliga sannolikhet 1 på 300 att en fyllningsdamm (under en livstid av 30 år) skall rasa på grund av inre erosion i dammkroppen eller undergrunden, jämför referens [1].

I Sverige har inga dammbrott inträffat på grund av inre erosion (räknat på samma sätt som ICOLDs statistik på dammar högre än 15 m). Under årens lopp har dock sjunkgropar rapporterats i ett flertal svenska fyllningsdammar. Groparnas storlek har varierat inom vida gränser, från smågropar med några decimeters diameter och djup till mycket stora gropar med en volym upp till i storleksordningen 30 m<sup>3</sup>. I några av fallen har förstärkningsåtgärder vidtagits i form av injekteringar eller genom att ny tätning införts, t ex i form av en stålspons. Vidare har i några fall dränageanordningar längs dammens nedströmstå utökats.

Under det senaste årtiondet har ett flertal rapporter som beskriver fall av inre erosion i svenska dammar publicerats, jämför t ex referenser [6] till [12]. I VASO-rapport nr 16, se referens [2], presenteras en inventering av förändringar i svenska fyllningsdammar. Förändringarna som har upptäckts har i inventeringen fördelats på 13 olika typer. Många av dammarna har angivits ha flera olika förändringar. Angivna förändringar i följande tabell (171 stycken) har inträffat på totalt 84 dammar.

Typ	Förändring	Antal
1	Läckage i grunden	16
2	Läckage i dammkroppen	19
3	Skador i släntskydd	45
4	Onormala rörelser (sättningar eller sidorörelser)	16
5	Inre erosion i grunden	5
6	Inre erosion i dammkroppen	13
7	Utglidningar (uppströms eller nedströms)	5
8	Förändringar vid anslutning mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion	16
9	Förändringar i dränagesystem eller filter	1
10	Portrycksförändringar	4
11	Förändringar i injekteringsskärm	1
12	Insjunkningar i dammkrön eller slänter	27
13	Annan förändring	3

Tabell 1 Frekvens av olika typer av förändringar

Från inventeringen framgår att *insjunkningar i dammkrön eller slänter* (typ 12) är den, efter skador på släntskydd, vanligaste typen av förändring som noterats. Sjunkgroparna rapporteras ofta förekomma i kombination med andra förändringar som läckage i grunden eller dammkroppen (typ 1 respektive 2) och inre erosion (typ 5 eller 6).

Inre erosion har samband med förändringar som visar sig i form av sjunkgropar och läckage. I några fall där insjunkningar inträffat, har orsaken till groparna rapporterats vara erosion åt uppströmssidan genom utvaskning av material genom erosionsskyddet. Sådana förändringar kan oftast anses ha liten påverkan på dammsäkerheten.

*Förändring vid anslutning till betongkonstruktioner* uppges ha inträffat vid 16 av de rapporterade dammarna. En fortgående förändring kan i dessa fall vara svår att upptäcka, eftersom upphängning på konstruktionen kan medföra att förändringar djupt ner i dammkroppen inte fortplantas upp till ytan.

Vid inventering rapporterades sjunkgropar i 27 dammar. En systematisk genomgång av uppgifter om dessa dammar har genomförts i föreliggande rapport.

Vid utvärderingen av skadefallen har samband sökts med respektive damms drifttagningsår, material i nedströmsfilter och tätkärna, konstruktionshöjd, stödfyllningen, samt närhet till betongkonstruktioner och eventuellt anslutande sponter.

Rapporten har som mål att få fram gemensamma förhållanden och omständigheter för de fall där sjunkgropar förekommit.

## 2 Genomförande

Huvuddelen av data för de olika dammarna har erhållits dels från VASO dammkommittés rapporter och arbetsdokument, dels från Kraftindustrins gemensamma dammregister och arkiven hos Vattenfall och VBB.

För att få en överskådlig bild av varje damm har det upprättats en beskrivning med uppgift om respektive damms geometri och ingående material, samt observerade förändringar och vidtagna åtgärder. Uppgifterna har baserats på vad som kan tänkas ha störst betydelse för uppkomsten av inre erosion i en fyllningsdamm. Beskrivningarna är samlade i [Bilagor](#) till föreliggande rapport.

Dammarnas geometri och dämmningsdata har hämtats från Kraftindustrins gemensamma dammregister. Geometrin för en damm definieras här av dess höjd, krönlängd, fribord och tätkärnans läge i dammkroppen. Dessutom anges om dammen är grundlagd direkt på berg eller på morän. Dämmningsdata anges som dämmnings- och sänkningsgräns, samt maximal regleringsamplitud.

Uppgifter om i dammen ingående material har i första hand hämtats ur VASO-rapporten, "Filter - Inventering och funktionsanalys", referens [3]. Denna rapport redovisar framförallt värden för  $D_{\max}$  och  $D_{15}$  för nedströmsfiltren i ett antal dammar. Dessa uppgifter har sedan, i den mån detta varit möjligt, kompletterats med värden för  $D_{50}$  och  $D_{85}$ , samt motsvarande uppgifter om tätkärnan. Merparten av denna kompletterande information har erhållits från Vattenfalls dammarkiv. Resultaten finns listade i [Tabell 2](#) till [Tabell 6](#).

En hypotes har varit att de dammar som uppvisar tecken på inre erosion har nedströmsfilter som är grövre än vad som anges i dagens kriterier. Vid genomgång av VBBs och Vattenfalls dammarkiv har därför sökts information beträffande siktkurvor för filter och i en del fall även för tätkärnor.

Förändringar som observerats och åtgärder som vidtagits vid de olika anläggningarna har hämtats från ovan nämnda VASO-rapport om åldersförändringar. Endast de dammar där förändringarna har rapporterats bero på inre erosion i dammen har tagits med i föreliggande rapport.

Ett ytterligare syfte med genomgången av framförallt Vattenfalls dammarkiv har varit att skaffa fram planer och sektioner över anläggningarna. Härigenom har orientering erhållits och bättre förståelse av beskrivningarna över inträffade förändringar.

För att kunna göra jämförelser mellan dammar med, respektive utan, tecken på inre erosion har uppgifter inhämtats för dammar även utan rapporterade skador. Uppgifter har dels insamlats om filter från dammar, dels allmänna uppgifter som t ex färdigställningsår och höjd.

Med samtliga dammar avses i detta fall dammar med en dammhöjd av 15 meter eller mer och som dessutom är lokaliserade i följande älvar eller biflöden till dessa:

Lule älv	Indalsälven
Skellefte älv	Ljungan
Ume älv	Ljusnan
Ångermanälven	Dalälven

Med hjälp av dammregistret har ett antal data tagits fram för alla dammarna i ovanstående älvar. Dessa data har sedan reducerats till att enbart omfatta dammar med en dammhöjd av minst 15 m. De dammar där man konstaterat eller misstänker inre erosion ingår i dessa data.

Faktorer som har använts vid dessa jämförelser har varit årtal för färdigställning, dammhöjd och regleringsamplitud.

### 3 Utvärdering

#### 3.1 Allmänt

Ökningar i läckaget har noterats vid några av tillfällena då sjungropar observerats. Instrumentering för mätning av läckage är dock ej så vanligt förekommande, varför det inte varit möjligt att registrera läckageökningar även om dessa förekommit. I de fall då läckagemätningar utförts har maximalt uppmätta läckageflödet noterats i sammanställningen över skadefallen i **tabell 2**. Då ökning noterats av flödet har oftast läckaget avtagit genom självläkning innan några tätningsarbeten, eller andra åtgärder, hunnit vidtagas.

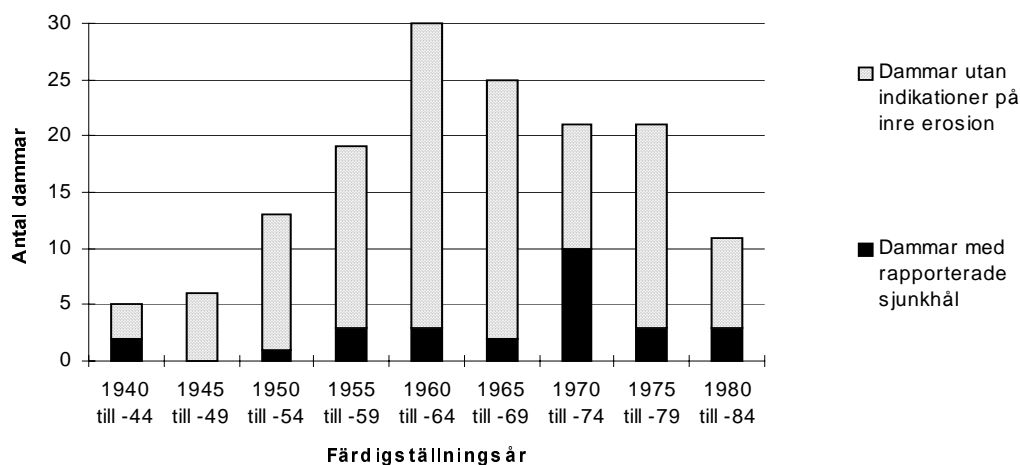
I det följande utvärderas olika parametrar för dammar som uppvisat tecken på inre erosion, med målet att indikera eventuella gemensamma förhållanden för dessa dammar. Följande faktorer har studerats:

- Färdigställningsår för dammen
- Nedströmsfiltrets kornstorleksfördelning
- Dammhöjd och regleringshöjd
- Andra faktorer som kan påverka uppkomsten av sjungropar

#### 3.2 Dammarnas färdigställningsår

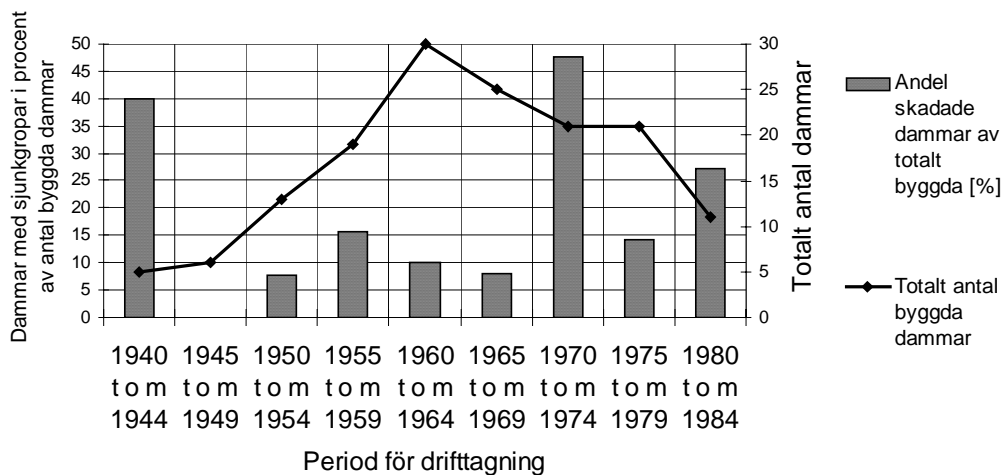
Dammens färdigställningsår visar sig ha en relativt stark koppling till om dammen senare har rapporterats varit utsatt för inre erosion. Sambandet finns med vissa tidsperioder, dock inte med det förväntade resultatet att äldre dammar skulle uppvisa en starkare tendens att vara utsatta för inre erosion än yngre dammar.

Om man sorterar alla byggda dammar, som är högre än 15 m, efter idrifttagningsår och markerar de dammar av dessa som rapporterats varit utsatta för inre erosion framkommer mönstret enligt **figur 1**.



**Figur 1** Antal dammar med rapporterade sjungropar i jämförelse med totala antalet byggda dammar under motsvarande period

Samma data kan också redovisas genom att antalet dammar med rapporterade sjunkgroppar anges som procent av det totala antalet dammar byggda under perioden, se **figur 2**.



**Figur 2** Andel dammar med sjunkgroppar av totalt byggda per 5-årsperiod. I figuren visas även det totala antalet byggda dammar

Under perioden 1940 till 1945 färdigställdes endast 5 dammar, varav 2 rapporterats haft sjunkgroppar. Den procentuellt stora andelen dammar med sjunkgroppar från denna period kan vara en tillfällighet. En tydlig skillnad kan dock noteras mellan dammar byggda före respektive efter 1970; före 1970 uppgår andelen dammar som är utsatta för inre erosion till ca 10 % medan denna andel ökar kraftigt efter 1970 och är 47% för perioden 1970 till -75, samt dessutom ligger kvar på 15 á 30 % fram till 1985. Under perioden 1970 till 1975 färdigställdes 21 dammar. I 10 av dessa dammar upptäcktes sjunkgroppar, dvs i nära hälften av antalet färdigställda dammar under denna period.

Det är antagligen flera orsaker varför ett stort antal av dammarna som färdigställdes under perioden 1970 till -75 och senare har erhållit skador. En av anledningarna kan vara att grövre filter användes nedströms tåtkärnan under denna period i jämförelse främst med dammar som färdigställdes tidigare. Denna möjliga orsak behandlas separat nedan. Vidare blev det vid denna tid vanligare att fyllningsarbetena bedrevs i två skift, dvs även under dygnets mörka tid. Maskinerna, t ex lastbilar, dumprar, bandtraktorer och vältar, som kom till användning vid fyllningsarbetena, var allmänt större än vad som tidigare använts. Manuellt arbete på dammarna blev också mer sällsynt. Det är härigenom möjligt att det ej upptäcktes i samma utsträckning som tidigare ifall stenseparation inträffade i filtren i samband med utläggningen.

I figur 2 visas även det totala antalet dammar för respektive period. Det kan här noteras att det inte finns något klart samband mellan det totala antalet byggda dammar och andelen dammar utsatta för inre erosion.

### 3.3 Nedströmsfiltrets kvalitet

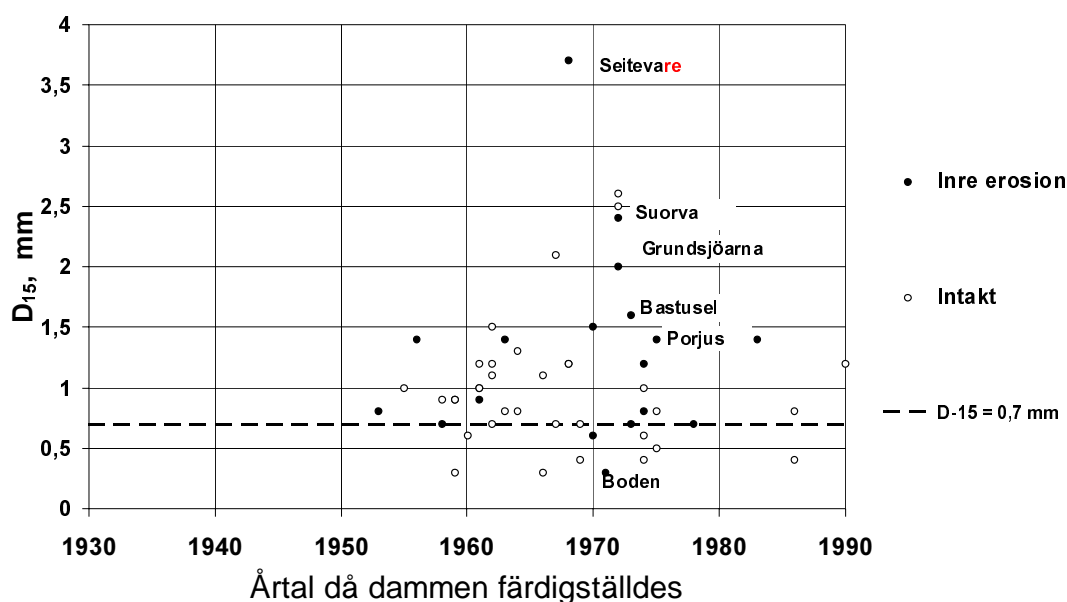
#### 3.3.1 Filtrets innehåll av finmaterial, ( $D_{15}$ -måttet)

En ofta angiven förklaring till att dammar utsätts för inre erosion är att nedströmsfiltren är felaktigt dimensionerade eller utförda. Från en siktkurva kan bl a  $D_{15}$  definieras, vilken enligt nuvarande filterregler vanligen inte får överstiga 0,7 mm.

Får att undersöka vilken inverkan  $D_{15}$ -måttet har haft på dammarnas status har en sammanställning gjorts av  $D_{15}$  både för dammar där sjunkgropar rapporterats som indikerar inre erosion och för dammar som inte uppvisat några sådana skador.

Siktkurvorna som påträffats för filtren avser normalt inte totalsiktning utan har ett  $d_{\max}$  på 64 mm eller mindre för merparten av dammarna. Filtren innehåller i flertalet fall dock också grövre material av okänd mängd. I praktiken innebär detta att angivna värden för t ex  $d_{15}$  och  $d_{50}$  skall ökas med något okänt värde för att vara representativa för hela materialet.

Resultatet visas i **figur 3** där även nuvarande filterpraxis är inlagt med en streckad linje. Kornfördelningen  $D_{15}$  för anläggningen i Juktan, som rapporteras till 32 mm räknat på totalsiktningskurvan, har uteslutits i diagrammet eftersom den är så stor att den faller utanför skalan i diagrammet.



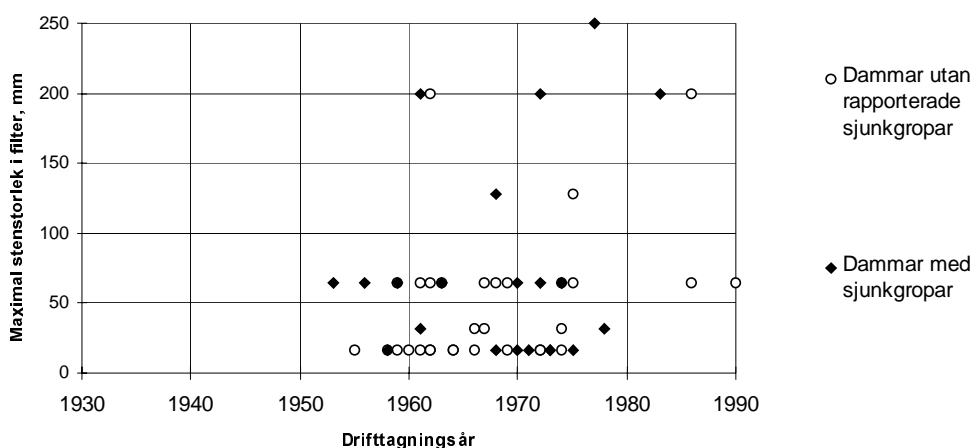
Figur 3 Storleken på  $D_{15}$  för dammens nedströmsfilter i förhållande till året då dammen färdigställdes.

Resultatet i figuren visar att dammar som byggdes 1970 till 1975 i allmänhet har grövre filter i jämförelse med dammar som färdigställts under tidigare år. Från figuren framgår vidare att flera av dessa dammar med grövre filtermaterial har uppvisat skador i form av sjunkgropar.

### 3.3.2 Filtrets innehåll av grovt material, ( $D_{max}$ )

$D_{max}$  för ett nedströmsfilter skall enligt nuvarande regler begränsas till högst 60 mm. Preliminärt avses ytterligare begränsning av maximala stenstorleken göras i tillämpningsföreskrifterna till Kraftindustrins riktlinjer för dammsäkerheten (RIDAS), som är under utarbetning.

Förutom alltför grova filter, vilket bl a kontrolleras med  $D_{15}$ , kan inre erosion även bero på separering vid utläggning av filtret. Begränsning av stenstorleken är till för att undvika separering, som medför att filtret lokalt blir alltför grovt och urspolning av tätmaterial kan ske. Maximala stenstorleken  $D_{max}$  för de undersökta dammarna redovisas i **figur 4**.



**Figur 4** Storleken på  $D_{max}$  för dammens nedströmsfilter i förhållande till året då dammen färdigställdes

Faktorn  $D_{max}$  uppvisar inte något tydligt samband mellan intakta dammar och sådana som är utsatta för inre erosion. Det bör dock noteras att flera dammar med sjunkgrovar har markant större maximal stenstorlek i filtret än vad som tillåts enligt nuvarande riktlinjer.

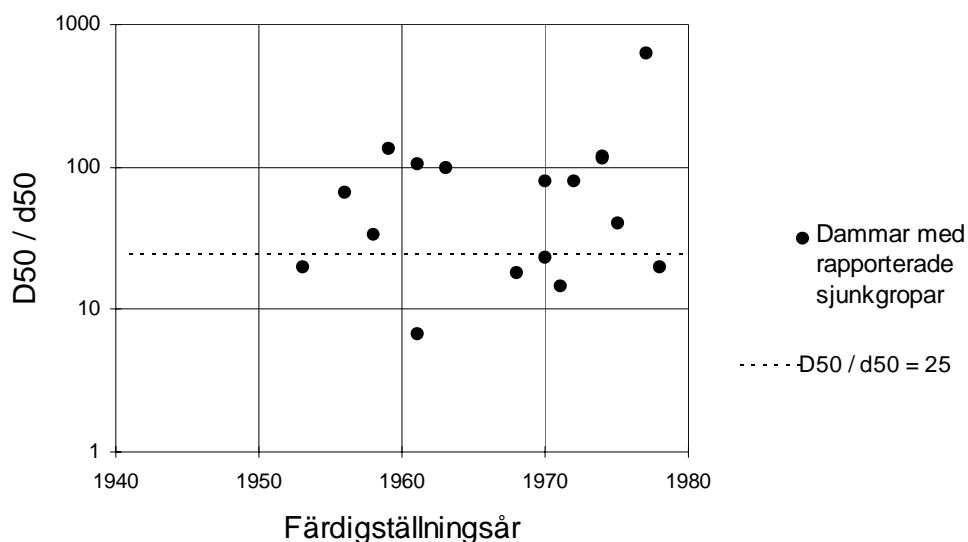
Redovisade värden för  $D_{max}$  återspeglar dessutom inte filtrets verkliga maximala kornstorlek; vid små värden på  $D_{max}$ , som t ex 16 och 32 samt 64 mm, är det sannolikt att de siktade proverna inte varit representativa för allt material i filtren, utan att man sorterat bort de grövsta fraktionerna innan siktningen. Några av punkterna i figuren är härigenom alltför låga.

### 3.3.3 Filtrets korngredning i förhållande till tätjorden, ( $D_{50} / d_{50}$ )

Bland filterreglerna, som finns i Vattenfalls dammhandbok [4], finns en regel om att det inte skall vara alltför stor skillnad mellan filter och basmaterial av morän. Kriteriet beskrivs som  $D_{50} / d_{50} < 25$ . Denna regel anges gälla både för moräner som innehåller finjordshalten 30 - 80% och moräner med finjordshalten  $< 30\%$ .

För några av de anläggningar där sjunkgrovar rapporterats har ovan nämnda förhållande beräknats, jämför **figur 5**. Resultatet redovisas också i **tabell 5**.





**Figur 5** Förhållandet  $D50 / d50$  för dammar där sjunkgroppar rapporterats i jämförelse med kravet i dammhandboken på  $D50 / d50 < 25$ .

I ovanstående diagram saknas ett antal dammar där uppgifter inte hittats för kornfördelningen för moränen i tät kärnan. Vidare har inte funnits information för att infoga förhållandet för dammar där inga sjunkgroppar rapporterats. Vid beräkningen av förhållandet har konservativt använts det grövsta rapporterade filtermaterialet, medan för tät kärnan använts det finaste rapporterade kornfördelningen. Från de uppgifter som redovisats för dammar med rapporterade sjunkgroppar kan noteras att ungefär en tredjedel av fallen uppfyller kravet, medan de andra två tredjedelarna har grövre filter än vad kriteriet tillåter. Vidare kan noteras att filtren för flera av dammarna, som färdigställdes efter 1970, markant överstiger filterkravet.

### 3.4 Dammhöjd

#### 3.4.1 Allmänt

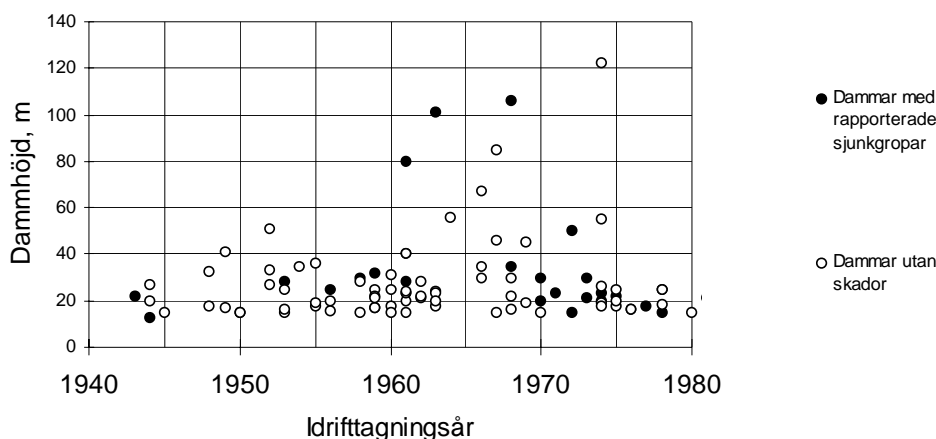
Sättningar eller spänningar på olika nivåer i dammkärnan mäts normalt inte i svenska dammar. De totala sättningarna i dammkroppen är beroende av dammhöjden, vilket medför att även ojämn spänningsfördelning och skikt med låga spänningar kan tänkas vara beroende av dammens höjd.

För att kunna bestämma om dammar med rapporterade sjunkgroppar har något samband med dammhöjden har höjden för samtliga dammar listats, varefter studerats hur dammhöjden för de skadade dammarna är fördelade bland dessa.

#### 3.4.2 Dammhöjden för skadade dammar

Dammhöjderna för dammar där sjunkgroppar rapporterats visas tillsammans med höjden av samtliga dammar i **figur 6**.

Från diagrammet kan inte konstateras något klart samband mellan dammarnas höjd och dammar som rapporterats haft sjunkgroppar.



Figur 6 Dammhöjder för skadade dammar tillsammans med höjden för samtliga dammar (i detta fall dammar norr om Dalälven som har en höjd av minst 15 m).

### 3.5 Regleringshöjdens inverkan

#### 3.5.1 Allmänt

De sättningar som sker i tåtkärnan kan bl a tänkas bli utbildade vid varje sänkning av reservoaren då en utjämnning av porttrycken ger en ökad belastning.

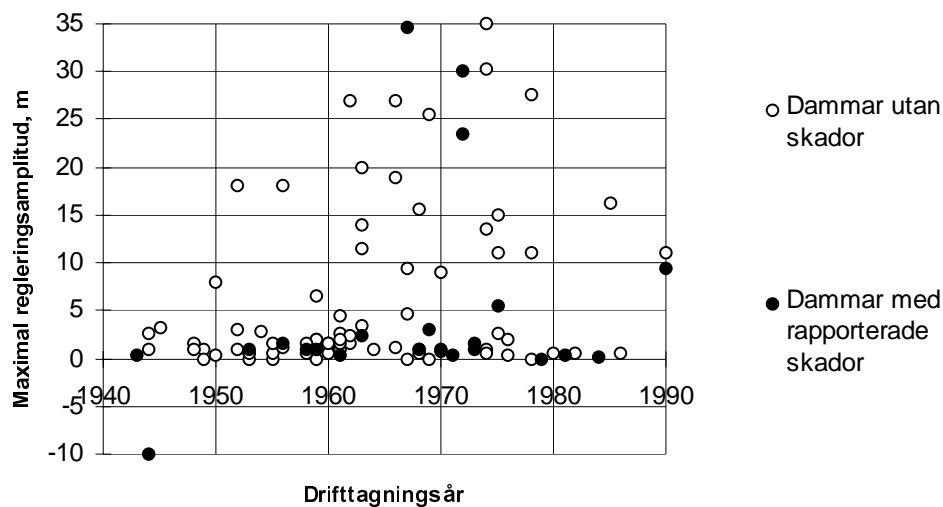
Regleringshöjden (skillnaden mellan dämningssgränsen och sänkingsgränsen) kan härigenom vara en faktor som indikerar spänningsförändringar och möjligen risken för att inre erosion uppkommer. Det finns dock ett problem i att den angivna regleringsamplituden (från Dammregistret) är den maximalt tillåtna, vilket inte nödvändigtvis betyder att den utnyttjas för respektive damm. Den maximala möjliga regleringsamplituden är en faktor som bör prövas, eftersom det skulle vara svårt att använda sig av respektive damms verkligt utnyttjade regleringsamplitud över dess livslängd och omsätta denna i en risk för inre erosion.

Den maximala regleringsamplituden för dammar med rapporterade sjunkgropar visas tillsammans med övriga dammar som inte uppvisat sådana skador framgår av **figur 7**.

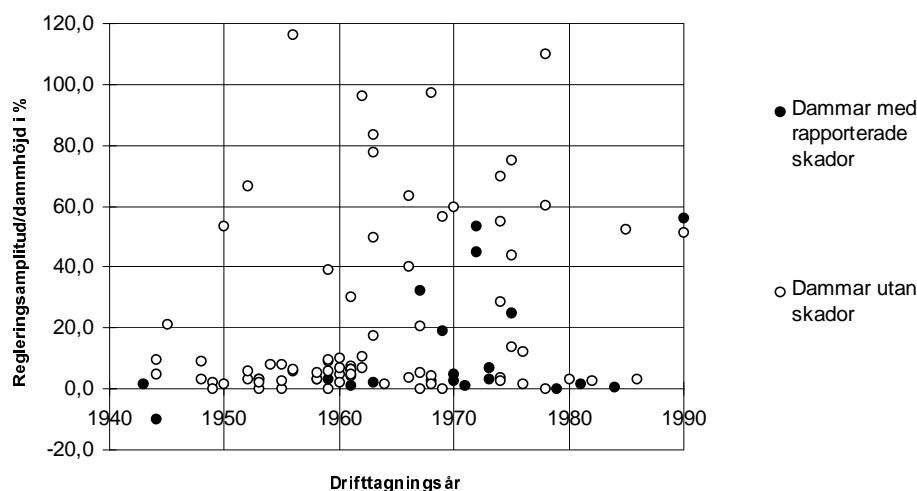
Resultaten visar att från och med mitten av sextioalet har regleringshöjderna ökat, samtidigt som antalet dammar med små regleringshöjder har minskat. Från resultaten går dock inte att konstatera något samband mellan regleringsamplitud och de dammar där sjunkgropar rapporterats.

Det är från värden på regleringsamplituden och dammhöjden möjligt att beräkna hur stor andel av dammhöjden som regleringsamplituden utgör. Om denna andel t ex är 25 % innebär detta att regleringsamplituden är en fjärdedel av dammhöjden. Resultatet av denna beräkning visas i **figur 8**.

Figur 8 visar att fram till ca 1960 har flertalet dammar en maximal regleringshöjd som inte överstiger 20 % av dammhöjden. Efter denna tidpunkt är spridningen betydligt större. Man kan vidare se en viss antydning under senare årtionden att alltmer av dammhöjden varit möjlig att utnyttja till regleringsamplitud. Huruvida denna reglering sedan utnyttjas i verkligheten är inte känt, men man bör kunna anta att ett ökat utnyttjande skett även om omfattningen är okänd.



**Figur 7** Maximal regleringshöjd för skadade dammar tillsammans med regleringshöjden för samtliga dammar (i detta fall dammar norr om Dalälven som har en höjd av minst 15 m).



**Figur 8** Förhållandet mellan maximal regleringsamplitud och dammhöjd anges för skadade dammar tillsammans med samma förhållande för samtliga dammar (i detta fall dammar norr om Dalälven som har en höjd av minst 15 m).

Från denna redovisning av regleringsamplituden, i förhållande till dammhöjden, går inte heller att se något samband där dammar med rapporterade sjunkgrovar skulle uppvisa någon avvikande trend i jämförelse med dammar i allmänhet.

### 3.6 Andra faktorer som kan påverka uppkomsten av sjunkgrovar

#### 3.6.1 Dammtyp

Svenska fyllningsdammar är nästan uteslutande antingen jordfyllnings-, eller stenfyllningsdammar. De dammar där sjunkgrovar rapporterats fördelar sig relativt jämnt mellan de två dammtyperna (12 st jordfyllningsdammar och 16 st stenfyllningsdammar). Då det i Sverige finns något fler jordfyllningsdammar än stenfyllnings-

dammar finns dock en viss överrepresentation av stenfyllningsdammar skadade med inre erosion.

Det är möjligt att dammtypen påverkar förutsättningarna för inre erosion på olika sätt:

- Då det i flera fall varit praxis att ha endast ett filter mellan tätjorden av morän och sprängstenen i stödfyllningen, i en stenfyllningsdamm, kan filtrets kornfördelning antas som en kompromiss valts alltför grovt mot moränen, för att i någon mån passa mot sprängstenen.
- Valvbildning i tåtkärnan mellan uppström och nedströmssidan ökar risken för låga spänningar och risk för hydraulisk uppspräckning. Denna effekt kan antas vara störst för jordfyllningsdammar. I stenfyllningsdammar med de förhållandevis höga deformationsegenskaperna för sprängstenen kan sättningsskillnaderna mellan tåtkärna och stödfyllning antas vara mindre.

I de fall där inre erosion uppstår så tål stenfyllningsdammar i storleksordningen 100 gånger större läckage än motsvarande jordfyllningsdamm. Uppskattning av möjligt läckage innan erosion inträffar vid dammtån kan göras från kornfördelningen (styckefallet) för materialet vid dammtån.

Enligt internationell statistik har i storleksordningen dubbelt så många jordfyllningsdammar som stenfyllningsdammar rasat på grund av inre erosion, jämför diskussion som gjorts av internationella dammbrott i samband med en sammanställning av skadefall på dammar i Norge [5]. Anledningen till att det varit färre dammbrott i stenfyllningsdammar i jämförelse med jordfyllningsdammar antas bero på att stödfyllning av sprängsten tål större läckage, vilket kan förmodas ge ett utdraget skadeförlopp, som ger tid att vidta åtgärder och ökad möjlighet till självläkning.

### ***3.6.2 Våtpackning respektive torrpäckning av tätjorden***

Vid uppbyggnad av tåtkärnan bör vattenkvoten hos moränen och packningsgraden hållas inom specificerade gränser. Kraven på packning och vattenkvot har ofta diskuterats i samband med byggandet av fyllningsdammar. Traditionellt har materialet packats inom ett angivet område för vattenkvoten och till en minsta torrdensitet.

Kraven på vattenkvoten vid packning har varierat under årtiondena och trenden har varit att vattenkvoten har ökat. Sättningar vid första vattendränkning av moränen blir betydande för material som packas in vid låg vattenkvot och till låg densitet. Vidare har man konstaterat att dammar som packats med ”våtpackningsmetoden” har erhållit mindre sättningar efter dammens färdigställning än ”torrpäckade” dammar.

Vid våtpackning packas moränen med bandtraktor och moränen har så hög vattenkvot att den blir plastiskt och traktorn sjunker 150-200 mm i det utbredda lagret.

Då sättningsskillnaderna blir stora mellan tåtkärna och stödfyllning kan det antas att låga spänningar uppstår i tåtkärnan, vilket ger förutsättningar för hydraulisk uppspräckning. Valet av metod för utläggning av moränen (torrpäckning eller våtpackning) kan därför tänkas ha betydelse för om inre erosion och sjunkgröpar uppkommer eller inte. Ett försök har därför gjorts att från informationen i arkiven få fram hur uppbyggnaden av dammen utförts.

Information om packningsmetod vid uppbyggnad av tåtkärnan har förts in i beskrivningarna av anläggningarna i bilagan till denna rapport. Vid de anläggningar där

---

sjunkgropar inträffat kan noteras att tätkärnan nästan enbart torrpäckats. Endast dammarna i Kilforsen och Messaure våtpäckades med säkerhet.

Då våtpackning uppges varit relativt vanligt inom dammbyggandet under 1960 och 70-talet, förefaller det som om våtpäckade dammar klarat sig förhållandevis bra. Någon systematisk undersökning av hur många våtpäckade dammar som byggdes har dock inte utförts.

### **3.6.3 *Sjunkgropar i anslutning mellan betongkonstruktioner och fyllningsdamm***

Rapporteringen av sjunkgropar visar att sjunkgropar i 16 av fallen inträffat i området för anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion, t ex utskovspelare. Skadorna kan t ex ha följande orsaker:

- Svårigheter på grund av utrymmesskäl att kunna packa fyllningen närmast betongkonstruktionen med tung vält på motsvarande sätt som övrig fyllning.
- Upphängning av tätjorden på betongkonstruktionen och eventuella anslutande sponter (förutom upphängningen på angränsande filter och stödjordsfyllningar som finns även på övriga delen av fyllningsdammen).
- Tätjorden i området har ibland valts något torrare än övrig fyllning (för att underlätta packning med vibroplatta). Den låga vattenkvoten medför att sättningarna vid vattendränkning blir större än för övrig fyllning.

Ovanstående förhållanden gör att spänningarna i tätkärnan efter dämningen, på grund av upphängning, kan bli låga, vilket medför risk för hydraulisk uppspräckning, som anses kunna inträffa då totaltrycket i jorden blir mindre än vattentrycket.

## 4 Diskussion

### 4.1 Orsakssamband

Flertalet av de rapporterade sjunkgroparna kan antas vara orsakade av inre erosion i dammkroppen eller undergrunden. Oftast inträffade sjunkgroparna många år efter det att dammen tagits i drift. Markant fler sjunkgropar har rapporterats från dammar som färdigställdes 1970 och senare. Speciellt drabbade är dammar som färdigställdes under perioden 1970 till -75. Orsaken till groparna bedöms oftast vara otillfredsställande projektering eller byggande.

I flertalet fall där sjunkgropar rapporterats finns ett samband med **otillräckligt filter** nedströms tatkärnan. Följande faktorer har noterats utgöra bristerna i filterverkan:

- I några fall finns endast ett filter mellan tatkärnan av morän och stödfyllningen av sprängsten. Den stora skillnaden i korngradering mellan dessa båda material gör att minst två filter (ett finfilter mot moränen och ett grovfilter mot sprängstenen) är nödvändiga enligt nuvarande riktlinjer.
- Ofta har filtret tillåtit innehålla en okänd mängd sten, vilket medförde en risk för att filtermaterialet separerades vid utläggningen. I nuvarande praxis begränsas den maximalt tillåtna stenstorleken till 60 mm. Ytterligare begränsningar av den maximala stenstorleken tillämpas dock i andra länder. Mer restriktiva regler planeras därför i de kommande tillämpningsföreskrifterna till Kraftindustrins riktlinjer för dammsäkerheten (RIDAS), som nu är under utarbetande.
- Filtret innehåller, i flertalet studerade fall, inte tillräcklig mängd fint material, för att kunna hålla kvar finmaterialet i tätjorden av morän. Enligt nuvarande regler skall filtermaterialet i de flesta fall innehålla minst 15% material mindre än 0,7 mm. Detta krav gäller då finjordshalten hos moränen är större än 30%, vilket den oftast är åtminstone i någon del av tükten som kommer till användning.

Otillräcklig filterverkan kan medföra ”piping” i tatkärna, dvs finmaterial från moränen i tatkärnan börjar transporteras ut i nedströmsfiltret. Erosionen arbetar sig mot uppströmssidan och när den når uppströmsfiltret ökar läckaget och materialtransporten accelererar, varvid ”materialbrist” kan uppstå i filtret. Underskottet av material kan leta sig uppåt i filterlagret som successivt rasar samman och utbildar sjunkgropar när förloppet når dammkroppens yta. Vanligtvis inträffar sjunkgropar på uppströmssidan av dammkrönet i filterzonens förlängning.

En annan tänkbar förklaring till inre erosion kan vara **låga spänningar**, som kan uppstå då deformationsegenskaperna i dammens olika delar varierar kraftigt i en fyllningsdamm. Låga spänningar kan medföra hydraulisk uppspräckning, som antas börja i tatkärnans uppströmssida då vattentrycket från magasinet är större än totalspänningen i tatkärnan.

Sättningar i tatkärnan kan t ex uppstå på grund av vattendränkningsättningar i samband med den första dämningen. Laboratorieförsök har visat att morän vid vissa förhållanden kan få betydande sättningar vid vattenmätningen i samband med första dämningen. Detta inträffar då moränen vid packningen varit relativt torr (vattenkvot under den optimala enligt tung laboratoriepackning) och fått relativt låg densitet. Sättningarna, på

grund av vattendränkningen, kan i vissa fall bli så stora som 5 % av provvolymen. Sättningar i tåtkårnan i samband med dånningen ger upphångning på omgivande filter och stödjord. Valvbildningen kan antas leda till att skikt med lägre vertikalspänningar utbildas. Dessa skikt kan utgöra risk för att hydraulisk uppspräckning uppstår.

Förutom sättningar på grund av vattendränkning sker omfördelning av spänningarna i en fyllningsdamm också på grund av olika deformationsegenskaper för materialen i tåtkårna och stödfyllning. Stödfyllningen är oftast mycket permeabel och dess deformationer under byggtiden sker mer eller mindre momentant under tiden då dammen byggs upp. För tåtkårnan däremot kan dess relativt stora täthet innebära att en del av överlasten inledningsvis bärs genom ett porvattenövertryck. När detta övertryck sedan utjämnas sker sättningar i tåtkårnan, vilket kan leda till att skikt med lägre vertikalspänningar utbildas.

Från inventeringen av dammarna som rapporterat sjunkgropar kan noteras att flera (16 fall) har visat att skador i en del fall inträffar i området för **anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion** t ex utskovspelare. Anledningen till detta kan bero på mindre lämplig geometrisk utformning (t ex sponter i tåtkårnan, smal tåtkårna), som ger upphångning och låga spänningar i tåtkårnan. En annan orsak kan också vara att upphångningen i dessa områden beror på sättningar vid vattendränkning då magasinet fylldes första gången. Vid anslutningarna, där packning görs med vibrationsplattor, har ibland torrare material använts för att underlätta packningen. Uppgifter om vattenkvot och densitet vid uppbyggnaden har dock inte tagits fram i denna utredning.

## 4.2 Åtgärder som vidtagits med anledning av sjunkgropar

Groparna har oftast fyllts igen och viss övervakning införts, vanligtvis i form av kortare intervall för inspektioner av dammen. I några fall har ökat läckage noterats i samband med att sjunkgropar utbildats. Då samband funnits mellan läckage och sjunkgropar har läckaget varit grumligt. Läckaget har dock oftast självläkt innan några åtgärder vidtagits. I något fall har läckaget möjligen också minskat på grund av att magasinet sänkts av.

Injektering har ibland genomförts av underliggande berg och ibland även i tåtkårnan. Nya sjunkgropar har dock i ett par fall inträffat på nytt efter några år, antingen i anslutning till det injekterade partiet, eller på ett annat ställe i dammen. En hypotes till detta kan vara att om orsaken till den inträffade erosionen varit bristande filterverkan har orsaken funnits kvar efter injekteringen. Injekteringen kan således möjligen ha reducerat pågående läckage och fyllt upp urspolade partier i tåtkårnan, men nya skador kan uppstå av bristande filterverkan på skadestället eller i andra delar av dammen där förutsättningar för inre erosion är snarlika.

Slutligen har dränagekapaciteten i några fall utökats genom dränagediken och utläggning av dränerande grövre material längs nedströmstån.

## 4.3 Rekommendationer

I flera fall där sjunkgropar uppstått på **befintliga dammar** har groparna endast fyllts igen och en viss ökad övervakning införts. Om konsekvenserna för ett eventuellt dammbrott är stora rekommenderas att **fältundersökningar** påbörjas, för att klarlägga orsakerna till inträffade skador.

En **ökad instrumentering** rekommenderas för fyllningsdammar i allmänhet och i synnerhet då särskilda förutsättningar finns för att inre erosion skall uppstå.

Vidare bör fyllningsdammar dimensioneras så att dessa är säkerställda vid varje rimligen möjligt läckage. Enligt "Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerheten (RIDAS)" skall dammar i konsekvensklass 1A och 1B dimensioneras för ett sådant läckage, som behöver bestämmas för varje damm. För en del dammar bedöms härigenom förstärkningar med en **nedströmstå av dränerande material**, eventuellt i kombination med dränageanordningar (t ex diken och/eller vertikala dräner) bli aktuella.

I **nybyggda dammar** förväntas inre erosion, som leder till så stora materialtransporter att sjunkgropar utbildas, kunna undvikas genom att mer strikta krav på **nedströmsfiltrets kornfördelning** tillämpas, än vad som tidigare varit praxis. I Vattenfalls dammhandbok från 1988 [4] infördes mer strikta regler för filter- graderingen än vad som funnits tidigare. I tillämpningsföreskrifterna till RIDAS, som nu är under utarbetande, avses den maximalt tillåtna stenstorleken i filter bli ytterligare reducerad. Härigenom minskar riskerna för separation i samband med utläggningen.

Vid nybyggnad av dammar kan det vara befogat att genomföra t ex följande åtgärder för att **reducera upphängningen** i området för anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktioner:

- Utöka tätkärnans och nedströmsfiltrets bredd på bekostnad av stödjordens bredd (vilket minskar valvbildning och ökar möjligheten till självläkning om läckage trots allt uppstår).
- Välja vattenkvot vid packningen av tätjorden högre än den optimala (för att denna skall vara plastisk och minska sättningarna vid vattendränkning).

Även då ovanstående punkter beaktas bör hänsyn tas till att plötsliga läckage kan uppstå särskilt vid anslutningen till betongkonstruktioner. **Dränagekapaciteten** och nedströms dammtå behöver därför dimensioneras för eventuellt läckage som kan tänkas uppstå. Dammen skall åtminstone tåla ett läckage under så lång tid att åtgärder hinner genomföras i form av tätning, avsänkning av vattenytan eller beredskapsåtgärder om dammbrott befaras.



## 5 Slutsatser

I flertalet fall där sjunkgropar noterats bedöms orsaken vara inre erosion i dammkroppen eller undergrunden. I några fall har groparna andra förklaringar, t ex nedspolning av finmaterial i samband med regn i underliggande grov sprängsten.

I de fall sjunkgropar uppstått på grund av inre erosion bedöms att de **orsakats av otillfredsställande projektering eller byggande**.

I flertalet av fallen kan samband noteras med **otillräcklig filterverkan**. Den dåliga filterverkan indikeras av att sjunkgropar inträffar på grund av att någon eller flera av följande parametrar faller mer utanför de tillåtna gränserna än övriga dammar där inte några sjunkgropar rapporterats:

- Filtrets innehåll av finmaterial, ( $D_{15}$ -mättet)
- Filtrets innehåll av grovt material, ( $D_{max}$ )
- Filtrets korngradering i förhållande till tätjorden, ( $D_{50} / d_{50}$ )

Eventuella samband mellan sjunkgropar och följande faktorer har studerats utan att något samband kunnat konstateras.

- Dammhöjden
- Regleringshöjden (skillnad mellan dämningssgränsen och sänkingsgränsen).

I många av fallen där sjunkgropar rapporterats har skadorna inträffat i anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktioner.

Reparationer genom injektering av skadan kan i de flesta fall noteras att inte motverka orsakerna till sjunkgroparnas uppkomst. Nya skador kan härigenom förväntas antingen i området för den konstaterade skadan eller i annan del av dammen som har liknande förutsättningar för inre erosion.

Läckagen som inträffat i samband med sjunkgropar har oftast självläkt innan några åtgärder vidtagits. Ett accelererande förlopp med risk för dammbrott kan dock med stöd av internationell statistik över dammbrott inte uteslutas.

## 6 Referenser

- [1] Fell R., "Estimating the probability of failure of embankment dams under normal conditions", Repair and upgrading of dams, Symposium in Stockholm, June 1996.
- [2] VASO dammkommittés rapport nr 16, "Åldersförändringar i fyllningsdammar", 1996.
- [3] VASO dammkommittés rapport nr 13, "Filter – Inventering och funktionsanalys", 1996.
- [4] Jord- och stenfyllningsdammar, Vattenfall, 1988.
- [5] "Sikkerhet ved fyllningsdammer, skademekanismer, undersøkelser og utbredning", EnFo, Publikasjon nr. 192-1997.
- [6] Bronner N., Fagerström H. and Stille H., "Bedrock Cracks as a Possible cause of leakage in two Swedish dams", Q.61, R.55, ICOLD, San Francisco, 1988.
- [7] Johansson B. "Investigations and Repair of the Embankment Dam at Porjus PowerStation" Symposium in Stockholm, Repair and Upgrading of Dams, June 5-7, 1996.
- [8] Johansson S. "Localisation and quantification of water leakage in ageing embankment dams by regular temperature measurements" ICOLD, Vienna, June 1991, vol 2, pp 991-1005.
- [9] Kjellberg R., Norstedt U and Fagerstrom H., (1985) "Leakage in and reconstruction of the Juktan earth and rockfill dams" ICOLD, Lausanne, Francisco, June 1985, vol 4, pp 553-572.
- [10] Nilsson Å. and Norstedt U., "Evaluation of ageing processes in two Swedish dams", ICOLD, Vienna 1991.
- [11] Norstedt U. and Nilsson Å., "Internal erosion and ageing in some of the Swedish earth- and rock-fill dams", Q.73, R.20, ICOLD, Florence, 1997.
- [12] Triumf C-A. "Two years of self-potential measurements on a large dam in northern Sweden", Symposium in Stockholm, Repair and Upgrading of Dams, June 5-7, 1996.

---

## 7 Tabeller

<b>TABELL 2</b> DAMMAR SOM RAPPORTERATS HAFT SJUNGGROPAR .....	21
<b>TABELL 3</b> KORNFÖRDELNINGEN FÖR NEDSTRÖMSFILTER FÖR DAMMAR DÄR SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	22
<b>TABELL 4</b> KORNFÖRDELNINGEN FÖR MORÄN I TÄTKÄRNAN FÖR DAMMAR DÄR SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	23
<b>TABELL 5</b> KORNFÖRDELNINGEN FÖR MORÄN I TÄTKÄRNAN FÖR DAMMAR DÄR SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	24
<b>TABELL 6</b> KORNFÖRDELNINGEN FÖR NEDSTRÖMSFILTER FÖR DAMMAR DÄR INGA SJUNGGROPAR RAPPORTERATS .....	25



Nr	Damm	Färdigställningsår	Älv	Damm-typ*	Grundläggning	Höjd m	Typ av förändring**	Läckage l/s	År då förändringen upptäcktes
1	Akkats	1973	Lule älv	ER	Berg	21	2, 3, 8, 12	0,7	1974, -88, -90
2	Bastusel	1972	Skellefteälven	TE	Jord	40	1, 2, 5, 6, 12	67	1972, -88, -93
3	Boden	1971	Lule älv	ER	Jord	21	1, 4, 12	?	1972, -83
4	Grundfors	1958	Ume älv	ER	Berg	30	12	?	1993
5	Grundsjöarna	1972	Ljusnan	TE	Berg/jord	43	3, 6, 10, 12	?	1983, -90
6	Hällby	1970	Ångermanälven	TE	Berg	25	8, 12	3	1985
7	Höljes	1961	Klarälven	TE	Berg	85	4, 12	?	1987
8	Juktan	1977	Umeälv	ER	Berg/jord	18	1,2, 6, 12	stort	1978, -79, -80, -81, -82
9	Kilfors (Imnäs)	1953	Ångermanälven	ER	Jord	23	3, 12	?	1983
10	Lasele	1956	Ångermanälven	ER, TE	Berg/jord	45	12	?	1990, 91
11	Lenninge	1981	Voxnan	TE	Berg	10	12	?	1991
12	Leringsfors	1944	Ljungan	TE	Jord	17	8, 12	?	1993
13	Långbjörn	1959	Ångermanälven	TE	Jord	33	1, 3, 5, 7, 12	30	Då och då
14	Långhag	1939	Dalälven	TE	?	15	12, 13	?	1939
15	Långströmmen	1961	Ljusnan	ER	Berg	25	12, (2)	?	Då och då
16	Lövön	1973	Faxälven	TE	Berg	15	12	?	1985
17	Messaure	1963	Lule älv	TE	Berg	101	3, 12	?	1969
18	Näs	1978	Dalälven	TE	Berg/jord	18	4, 8, 12	?	1979, -85, -93
19	Olden (Mjölkvat.)	1974	Indalsälven	ER	Jord	18	3, 12	?	1989, -93
20	Olden (Ö Oldsjön)	1974	Indalsälven	ER	Berg	20	3, 12	?	1977, -83, -86, -86, -93
21	Porjus	1975	Lule älv	ER	Berg	22	2, 6, 10, 12	?	1979, -85, -93
22	Rengård	1970	Skellefteälven	TE	Berg	20	6, 8, 12	?	1993
23	Seitevare	1968	Lule älv	ER	Berg	106	1, 2, 3, 12	45	1983, -89, -91, -93
24	Smedjemorasjön								
25	Stenkullafors	1983	Ångermanälven	TE	Berg/jord	27	6, 8, 10, 12	?	1993
26	Suorva, Ö	1972	Lule älv	ER	Berg	50	1, 2, 3, 6, 12	120	1983, -89, -91, -93
27	Torpshammar	1943	Ljungan	TE	?	14	12	?	1993
28	Åsele	1981	Ångermanälven	TE	Jord	20	3, 4, 12	?	1987, -88

\* ER = Stenfyllningsdamm, TE = Jordfyllningsdamm

\*\*se lista över förändringar i tabell 1

**Tabell 2 Dammar som rapporterats haft sjunkgropar**

**Tabell 3 Kornfördelningen för nedströmsfilter för dammar där sjunkgröpar rapporterats**

Dammar med rapporterade sjunkgröpar				Nedströmsfilter			
Nr	Anläggning	Färdigställningsår	Ålder	D <sub>max</sub>	D <sub>15</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>85</sub>
				mm	mm	mm	mm
1	Akkats	1973	24	16	0,7	3,2	10
2	Bastusel	1973	24	16	1,6	5,3	12
3	Boden	1971	26	16	0,3	1,3	10
4	Grundfors	1958	39	16	0,7	1,7	6,0
5	Grundsjöarna	1972	25	64	2	10	30
6	Hällby	1970	27	64	1,5	8,0	50
7	Höljes	1961	36	200	0,9	1,6	100
8	Juktan	1977	20	250	32	95	200
9	Kilforsen (Imnäs)	1953	44	64	0,8	2,0	16
10	Lasele	1956	41	64	1,4	6,0	24
11	Lenninge	1981	16	-	-	-	-
12	Leringsforsen	1944	53	-	-	-	-
13	Långbjörn	1959	38	64	0,9	12	50
14	Långhag	1939	58	-	-	-	-
15	Långströmmen	1961	36	32	1,0	3,4	14
16	Lövön	1973	24	-	-	-	-
17	Messaure	1963	34	64	1,4	10	30
18	Näs	1978	19	32	0,7	2,0	10
19	Olden, Mjölkvattnet	1974	23	64	1,2	6,0	32
20	Olden, Ö Oldsjön	1974	23	64	0,8	7,0	40
21	Porjus	1975	22	16	1,4	4,1	9,0
22	Rengård	1970	27	16	0,6	3,0	10
23	Seitevare	1968	29	16	3,7	7,0	14
24	Smedjemorasjön	1990	7	32	1,2	3,0	10
25	Stenkullafors	1983	14	200	1,4	20	100
26	Suorva, Ö	1972	25	200	2,4	18	130
27	Åsele	1981	16	-	-	-	-

**Tabell 4 Kornfördelningen för morän i tät kärnan för dammar där sjunkgropar rapporterats**

Dammar med rapporterade sjunkgropar		Tät kärna				
Nr	Anläggning	< 0,075* %	d <sub>max</sub> mm	d <sub>15</sub> mm	d <sub>50</sub> mm	d <sub>85</sub> mm
1	Akkats	48	-	-	0,10	0,8
2	Bastusel	56	-	-	-	1,0
3	Boden	47	16	0,015	0,09	0,7
4	Grundfors	67	16	0,02	0,05	0,3
5	Grundsjöarna	45	64	0,02	0,12	2,5
6	Hällby	48	64	0,01	0,10	2,0
7	Höljes	36	16	0,017	0,15	1,8
8	Juktan	36	16	0,024	0,15	3,0
9	Kilforsen (Imnäs)	46	16	-	0,10	2,0
10	Lasele	48	-	-	0,09	1,2
11	Lenninge	-	-	-	-	-
12	Leringsforsen	-	-	-	-	-
13	Långbjörn	45	16	-	0,09	1,5
14	Långhag	-	-	-	-	-
15	Långströmmen	27	-	-	0,50	7,2
16	Lövön	-	-	-	-	-
17	Messaure	40	16	0,012	0,10	1,4
18	Näs	45	16	0,010	0,10	1,5
19	Olden, Mjölkvattnet	56	16	0,008	0,05	2,0
20	Olden, Ö Oldsjön	65	64	0,015	0,06	1,5
21	Porjus	37	-	0,009	0,10	1,8
22	Rengård	50	16	0,012	0,13	1,2
23	Seitevare	46	-	-	0,08	0,8
24	Smedjemorasjön	43	64	-	0,11	1,9
25	Stenkullafors	41	-	0,007	0,125	1,5
26	Suorva, Ö	52	-	0,009	0,08	0,8
27	Åsele	-	-	-	-	-

\*Angivna värden avser finmaterialet räknat på material mindre än 20 mm

**Tabell 5 Kornfördelningen för morän i tät kärnan för dammar där sjungropar rapporterats**

Nr	Anläggning	D15/d15 > 4	D50/d50 < 25	Damm- höjd m	Reglerings- amplitud m	Reglampl/ dammhöjd %
1	Akkats	-	32	21	1,5	7,1
2	Bastusel	-	-	30	1	3,3
3	Boden	20	14	23	0,3	1,3
4	Grundfors	35	34	30	1	3,3
5	Grundsjöarna	100	83	15	23,5	> 100
6	Hällby	150	80	30	0,8	2,7
7	Höljes	53	11	80	34	42,5
8	Juktan	1333	633	18	11	61,1
9	Kilforsen (Imnäs)	-	20	28	0,9	3,2
10	Lasele	-	67	25	1,5	6,0
11	Lenninge	-	-			
12	Leringsforsen	-	-	13	9,2	70,8
13	Långbjörn	-	133	31,5	1	3,2
14	Långhag	-	-	5	0,6	12,0
15	Långströmmen	-	7	28	0,35	1,2
16	Lövön	-	-			
17	Messaure	117	100	101	2,4	2,4
18	Näs	70	20	15		
19	Olden, Mjölkvattnet	150	120	23		
20	Olden, Ö Oldsjön	53	117	20	15	75,0
21	Porjus	156	41	22	5,5	25,0
22	Rengård	50	23	20	1	5,0
23	Seitevare	-	88	106	34,5	32,5
24	Smedjemorasjön	-	27	17	9,5	55,9
25	Stenkullafors	200	160	28	0,15	0,5
26	Suorva, Ö	267	225	50	30	60,0
27	Åsele	-	-	21	0,35	1,7



**Tabell 6 Kornfördelningen för nedströmsfilter för dammar där inga sjungropar rapporterats**

<b>Dammar utan inre erosion</b>						
Nr	Anläggning	Färdigställningsår	Ålder från -97	D <sub>max</sub> mm	D <sub>15</sub> mm	D <sub>50</sub> mm
1	Abelvattnet	1969	28	16	0,4	3
2	Ajaure	1967	30	32	2,1	
3	Bjurfors nedre	1959	38	64	0,9	4
4	Dabbsjö	1969	28	64	0,7	20
5	Flåsjön	1974	23	32	1	4
6	Gallejaur	1964	33	16	1,3	
7	Gardiken	1962	35	64	0,7	6,5
8	Hermansboda	1962	35	200	1,1	6
9	Häckren	1966	31	32	0,3	2
10	Järkvissle	1959	38	16	0,3	
11	Korselbränna	1961	36	64	1,2	8
12	Moforsen	1968	29	64	1,2	9
13	Noppikoski	1986	11	64	0,8	18
14	Nävereds	1955	42	16	1	
15	Olden 1	1975	22	64	0,8	7
16	Rusfors	1962	35	16	1,2	
17	Satisjaure	1966	31	16	1,1	
18	Selsfors	1975	22	128	0,5	
19	Stensele	1960	37	16	0,6	
20	Storjuktan	1963	34	64	0,8	4,5
21	Stornorrfor	1958	39	16	0,9	
22	Storuman	1961	36	16	1	3,2
23	Suorva Sågviksd.	1972	25	16	2,5	
24	Suorva Västra	1972	25	16	2,6	
25	Sädva	1986	11	200	0,4	
26	Trångfors	1974	23	64	0,6	5,5
27	Tuggen	1962	35	16	1,5	
28	Vittjärv, högra	1974	23	16	0,4	
29	Vässinkoski	1967	30	64	0,7	6
30	Överuman	1964	33	16	0,8	

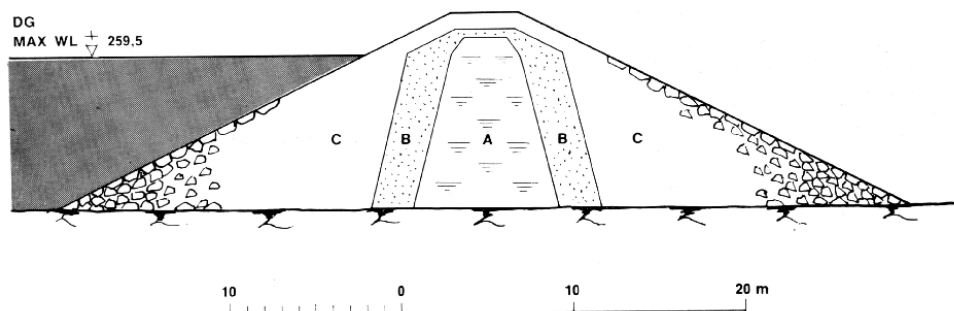
## 8 Bilagor Beskrivningar av dammar där sjungropar rapporterats

<b>8 BILAGOR BESKRIVNINGAR AV DAMMAR DÄR SJUNGROPAR RAPPORTERATS .....</b>	<b>26</b>
BILAGA 1 AKKATS.....	27
BILAGA 2 BASTUSEL.....	30
BILAGA 3 BODEN.....	34
BILAGA 4 GRUNDFORS.....	36
BILAGA 5 GRUNDSJÖARNA .....	37
BILAGA 6 HÄLLBY .....	39
BILAGA 7 HÖLJES.....	41
BILAGA 8 JUKTAN.....	42
BILAGA 9 KILFORSEN (IMNÄS).....	45
BILAGA 10 LASELE .....	47
BILAGA 11 LENNINGE.....	48
BILAGA 12 LERINGSFORSEN.....	49
BILAGA 13 LÅNGBJÖRN.....	50
BILAGA 14 LÅNGHAG .....	53
BILAGA 15 LÅNGSTRÖMMEN.....	54
BILAGA 16 LÖVÖN.....	55
BILAGA 17 MESSAURE.....	57
BILAGA 18 NÄS .....	61
BILAGA 19 OLDEN, MJÖLKVATTNET .....	64
BILAGA 20 OLDEN, Ö OLDSJÖN .....	65
BILAGA 21 PORJUS.....	66
BILAGA 22 RENGÅRD .....	69
BILAGA 23 SEITEVARE.....	71
BILAGA 24 SMEDJEMORASJÖN .....	73
BILAGA 25 STENKULLAFORS.....	74
BILAGA 26 SUORVA ÖSTRA.....	77
BILAGA 27 ÅSELE.....	80

## Bilaga 1 Akkats

HUVUDDAMM - GRUNDLÄGGNING PÅ BERG

A = TÄT MORÄN  
B = FILTER  
C = STENFYLLNING



Färdig år	1973	Nedströmsfilter	Tätkärna
Höjd		$D_{\max} = 16$ mm	$d_{\max}$ saknas
Höger damm	21 m	$D_{15} = 0,7$ mm	$d_{15}$ saknas
Vänster damm	9 m	$D_{50}$ saknas	$d_{50}$ saknas
Krönlängd		$D_{85}$ saknas	$d_{85}$ saknas
Höger damm	120 m		Finjordshalt* saknas
Vänster damm	1480 m	$D_{50}/d_{50}$ saknas	$D_{15}/d_{15}$ saknas

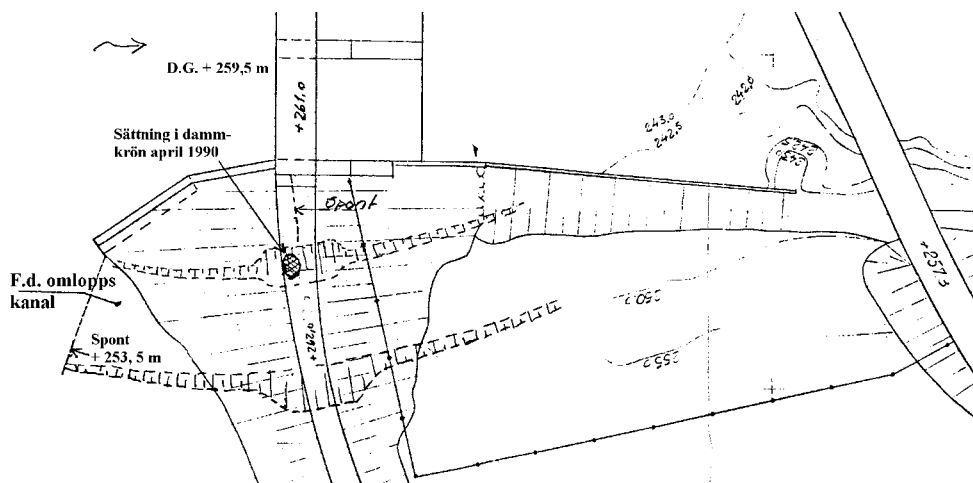
\* finjordshalt = mängd material mindre än 0,075 mm räknat på material mindre än 20 mm

Dammen är belägen i Lilla Luleälven och färdigställdes 1973. Fyllningsdammarna är utförda enligt konventionell stenfyllningsmodell med en central tätkärna av morän. Högra dammen grundlades på berg medan den vänstra grundlades dels på berg och dels på naturlig morän. Dammen är försedd med endast ett filter på nedströmssidan av tätkärnan. Filtrets tjocklek är omkring 2,5 m. Undre halvan av tätkärnan torrpackades och den övre halvan våt- eller torrpackades efter vad som bestämdes på plats. På grund av pressat tidsschema, till följd av problem med en fångdamm, skedde grundläggningen av tätkärnan under vinterförhållanden.

1974 observerades ett läckage i den högra stenfyllningsdammen i anslutning till utskovskonstruktionen. Flödet uppmättes till omkring 0,67 l/s och var troligtvis grumlat. Magasinet sänktes av vid upptäckten av läckaget. Läckaget tätades därefter genom massor, som tippades på dammens uppströmssida. Läckaget upphörde 5 dagar efter det att det först noterats. Det totala läckaget genom dammen uppmättes samtidigt till 8 l/s.

1988 uppträdde ett nytt läckage, denna gång i den vänstra stenfyllningsdammen, omkring 200 m från intagskonstruktionerna. Inga sjunkgropar finns omnämnda i samband med detta läckage.

1989 noterades två mindre sättningar, med utbredningen  $2 \times 4$  m och  $1 \times 1$  m, i höger damms uppströmsslant.



En sjunkgrop uppträdde i april 1990 i den högra dammen i samma punkt som 1974 års läckage. Gropen var lokaliserad i dammens krön, ovanför uppströmsfiltret i uppströms krönhalva, omkring 13,5 m från den högra ledmuren till utskovskanalen. Gropen hade en medeldiameter på ca 3,0 m och ett djup av 1,2 m.

I sektionen är jorddammen ca 20 m hög och grundlagd på berg, som lutar 1:1 tvärs dammen. Mot dammens uppströmssida har utfyllning skett mot befintlig fångdamm.

Ingen förändring i läckageflöde noterades i samband med att sjunkgropen uppträdde. Sättningen antas ha orsakats av materialförlust nere i dammen, vilket bedöms ha orsakat en kavitet, som fortplantats upp till dammkrönet. Denna del av dammen fylldes upp till halva sin nuvarande höjd i kallt klimat. Det utlagda materialet tjalade delvis efter utläggningen, vilket medfört en lägre densitet i tatkärnan. Sättningen i sjunkgropen 1990 motsvarade ca 10 % av den vinterfyllda höjden. Den totala bedömda materialförlusten (ca 10 m<sup>3</sup>) är dock för stor för att enbart kunna förklaras med sättningar efter upptining.

Krönet avschaktades varvid det konstaterades att uppströmshalvan av tatkärnans överyta satt sig omkring 1 m i området för sjunkgropen, dvs tatkärnans överyta låg här ca 0,1 m under dämmningsgränsen. På ytan fanns ett 0,1 - 0,2 m tjockt islager utan jordinblandning. Under isen var jorden i flyttillstånd. Kring sättningen fanns en vertikal spricka i moränen. Sprickan var till större delen ihoptjälad med den kringliggande moränen. Vid sättningen noterades lokala isbildningar under isolermattan på moränen i tatkärnan.

Sättningen i tatkärnan har troligtvis inträffat före nedfrysningen. Genom valvbildning och ihopfrysning har krönet hållits intakt tills dess att en tillräcklig försvagning skett till följd av upptining, samt av regn och smältvatten. I övriga delar av tatkärnan var isolerskivan ihoptryckt till halva sin ursprungliga tjocklek och tjälldjupet under denna var ca 1 m. Sondering visade att vissa nivåer av tatkärnan troligtvis är dåligt packade. Tätjorden konstaterades vara tjälfarlig.

Skadan är belägen på kanten av den sektion under vilken omloppskanalen var belägen. Omloppskanalen var utförd med branta kanalväggar. Den stora höjdskillnaden över den korta sträcka som kanalväggen utgör, med ojämna sättningar som följd, bedöms ha bidragit till skadorna på tät kärnan.

I september 1990 noterades starka vattenströmningar vid högra ledmuren nedströms utskovet beroende på att vatten, som troligtvis kommer från höger damm, rinner ut genom ett hål i ledmuren. Vattenytan var betydligt högre innanför muren än i utskovskanalen. Även i vänster damm noterades ett läckage i släntfoten ca 190 m från intaget.

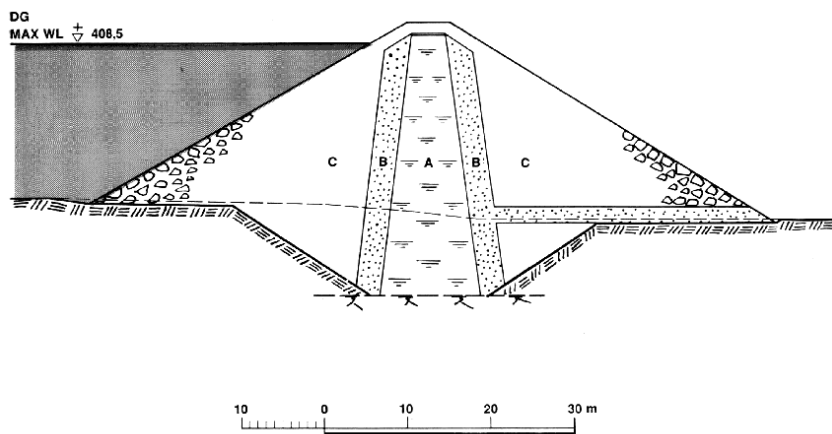
Under de följande fyra åren ökade läckaget i vänster damm, medan läckaget från höger damm var stabilt.

1994 noterades nya sättningar i höger damm på samma ställe som den större sjunkgropen noterades 1990. Området avjämnades med fyllningsmassor utan att undersökas närmare. En grop noterades även i vänster damms krön. Denna bedömdes bero på att finmaterial spolats ner i den underliggande stenfyllningen.

## Bilaga 2 Bastusel

HUVUDDAMM - GRUNDLÄGGNING PÅ BERG

A = TÄT MORÄN  
B = FILTER  
C = STENFYLLNING



Färdig år	1972	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd		$D_{\max} = 16 \text{ mm}$	$d_{\max}$ saknas
Intagsdamm	30 m	$D_{15} = 1,6 \text{ mm}$	$d_{15}$ saknas
Utskovsdamm	13 m	$D_{50} = 5,3 \text{ mm}$	$d_{50}$ saknas
Krönlängd		$D_{85}$ saknas	$d_{85}$ saknas
Intagsdamm	830 m		Finjordshalt= 60%
Utskovsdamm	1770 m		
		$D_{50}/d_{50}$ saknas	$D_{15}/d_{15}$ saknas

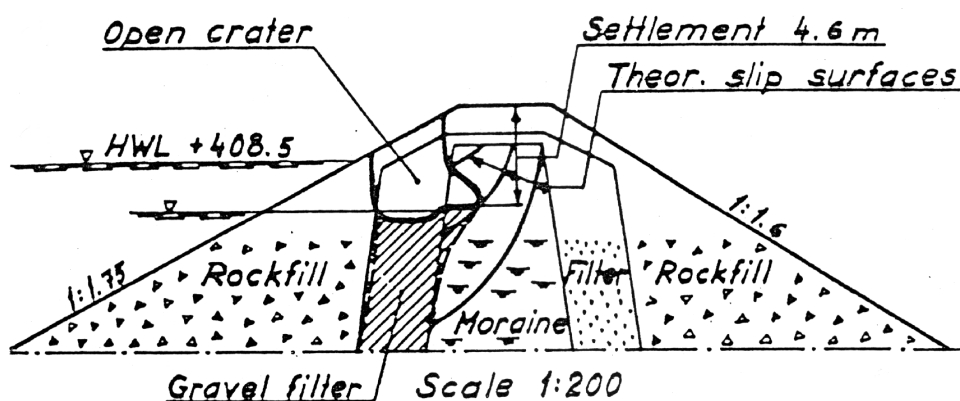
Bastusel som är beläget i Skellefteälven togs i drift 1972. Anläggningen består av en utskovsdamm och en intagsdamm. Utskovsdammen består av vänster och höger jorddamm och är 13 m hög över sin djupaste del. Jorddammarna är grundlagda på berg och naturlig morän. Krönet har en bredd av 4 m och en längd av 1 800 m.

**Intagsdammen**, där de huvudsakliga skadorna skett, är grundlagd på berg och naturliga moränlager och har en högsta höjd av 30 m, krönbredd 4 m och krönlängd 830 m. Dammen har en central, vertikal tätkärna av morän, som skyddas av ett ca 1,5 - 2 m tjockt filter på respektive sidor om denna. Stödfyllningen i dammen består av sprängsten. Det finns således bara ett filterlager mellan tätkärnan av morän och stödfyllningen av sprängsten. Mot utskovskonstruktionerna, som delar utskovsdammen på mitten, finns en spont i tätkärnan.

En successiv ökning av läckaget från 35 l/s till ca 67 l/s, i **intagsdammens vänstra sida**, noterades under de två första månaderna efter idrifttagandet. Läckvattnet mynnade ungefär i sektion 0/200. På grund av det stora läckaget sänktes magasinsnivån av med 2 m, varvid läckaget minskade till ca 17 l/s. Två veckor senare ökade läckaget igen och var tidvis grumligt. Då uppkom en 3 m djup sjungrop i den vänstra delen av fyllningsdammen, i krönet mot uppströms-

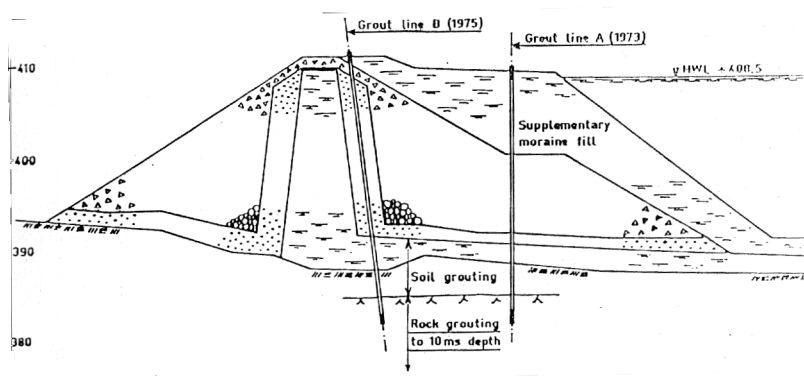
slänten i sektion 0/196. Kratern hade volymen  $5 \times 5 \times 5$  m och gick ner i uppströmsfiltret. Från kraterns botten gick en kanal in 1,5 m in i tätkärnan.

Magasinet avsänktes ytterligare 1 m, varvid läckaget minskade till 25 l/s. En andra sjunkgrop uppträdde straxt därefter i nedströms stödbank.



Undersökningarna visade att en 5 m bred, vertikal tunnel som sannolikt gick ända ner till dammbotten hade bildats utefter uppströmsfiltret. I den aktuella sektionen är dammhöjden ca 30 m och ligger i övergången mellan berggrundläggningen och vänster anslutning.

På grund av de stora skadorna blev arbetet med att reparera dammen mycket omfattande. Mot uppströms fyllning utlades en moränfyllning från dammbotten upp till krönet i hela dammens längd. Hela det skadade området täcktes in. En injekteringsridå utfördes under åren 1973 till 1975 i den utlagda moränfyllningen och berggrunden, då de översta två metrarna av berggrunden under dammen har visat sig vara kraftigt vattenförande. På nedströmssidan breddades stödfyllningen inom det aktuella området och det befintliga dräneringssystemet förbättrades.



1973 skedde en läckageökning (från 18 till 43 l/s) tre veckor innan en ny sjunkgrop uppträdde i uppströmskanten av dammens krön (sektion 0/168). Gropens djup var 0,5 - 1,0 m.

Under det följande året uppträdde ett antal anslutande sjunkgropar. Läckagevolymen höll sig på en fortsatt konstant hög nivå, med ett läckage runt 35 - 40 l/s. Ingen grumling noterades. Ett antal sättningar noterades i nedströms stödbank, som utlagts vid den första reparationen. Sättningarna i stödbanken bedömdes bero på att denna vinterfyllts. Sjunkgropen hade ett djup av ca 0,8 m och låg omkring sektion 0/200.

1974 uppträdde en ny sjunkgrop i tätattan 10 m uppströms dammtån. Inga onormala variationer i läckagevolymen registrerades. Inga undersökningar utfördes. Läckagevolymen ökade från detta skadetillfälle successivt från ca 37 l/s till 43 l/s mellan 1976 och 1988 och stabiliserades sedan på denna nivå.

En sjunkgrop uppträdde 1988 i sektion 0/240 i dammen i uppströmskanten av krönet. Gropen var ca 1 m djup och en diameter av 2 m. Läckaget ökade kraftigt i samband med att gropen uppträdde och minskade sedan igen. Området grävdes upp ner till tätkärnan, men inga skador kunde konstateras. Läckaget var stabilt fram till 1993, men ökade långsamt.

Vid undersökningar 1993 genomborrades en kavitet med blöta skikt i sektion 0/251. Ett par dagar senare minskade plötsligt läckaget från 42 till 18 l/s, varvid det konstaterades att kaviteten rasat in.

I **intagsdammens högra sida** noterades i juni 1993 läckage från dammens nedströmstå. Ställverket översvämmades delvis. Läckage kom ut på upp till 10 m höjd i nedströmsfyllningen, vilket tydde på att materialet satt igen sig. Läckaget var stort, men ingen uppskattning av storleken finns rapporterad.

Samma månad uppträdde en sjunkgrop i dammens krön (sektion 0/478). Gropöppningen var ca 1,6 - 2,0 m och djupet 2 m. Läckaget minskade i samband med detta plötsligt till 42 l/s. I augusti uppträdde ytterligare en sjunkgrop, denna gång i uppströmsslänten invid krönet i sektion 0/508. Arean av denna var  $2,5 \times 3,6$  m och djupet 0,9 m. Den senast uppkomna sjunkgropen fördjupades omkring två månader efter det att den uppkommit. Grumling noterades under en dag i samband med att hålet uppträdde. I samband med undersökningsborrningarna som följde ökade hålets volym till ca  $10 \text{ m}^3$ . Läckaget minskade därefter successivt. En sättning uppkom dessutom i nedströmsslänten i sektion 0/420.

Området kring sektion 0/508 undersöktes bl a med georadar, varvid fortsatt materialförlust konstaterades. Berget under dammen bedömdes vara i stort sett tätt, med endast ett fåtal vattenförande sprickor vid dammens ändar. Mellan längdmätningarna 0/400 - 0/680 fanns ett antal sektioner där områden med förhöjd vattenhalt kunde konstateras i tätkärnan. Dessa områden sammanföll till stora delar med de sektioner där sjunkgropar uppträtt. Partierna med högt vatteninnehåll sträckte sig från dammens krön till 10 - 12 m djup i tätkärnan.



---

I augusti 1993 placerades 7 000 m<sup>3</sup> stenfyllning ut över dammens nedströmstå i läckagets utströmningsområde. Området för sjunkgroppen injekterades under 1994, varefter läckaget successivt avtagit.

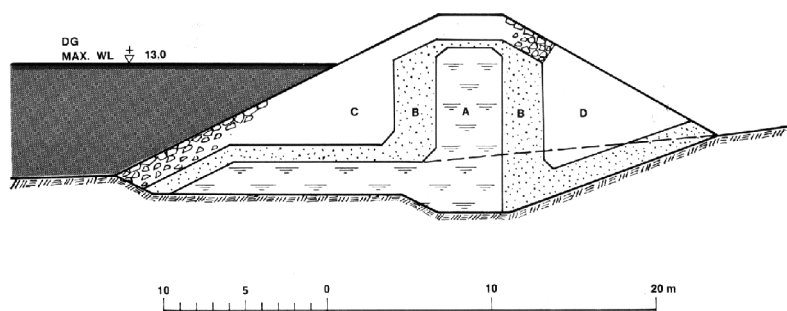
Dammen undersöktes på nytt i samband med injekteringen. Läckagevägar genom dammen lokaliserades med saltvatten, som injekterats genom rör. Dessa läckagevägar kartlades sedan ytterligare med georadar. Övervakningsutrustning har installerats för att mäta det fortsatta läckaget.

I **utskovsdammen** uppstod 1983 sättningar på bägge sidor om utskovskonstruktionen. Under vingmuren på höger sida hade stora hålrum uppstått. Enligt rapporter från undersökningarna berodde detta troligtvis på att material sköljts ut under vingmurarna som en följd av otillräckliga filter. Enligt filterkriterierna skulle ett övergångslager ha utförts under erosionsskyddet. Detta hade dock ej skett. Skadorna hade troligtvis initierats av sättningar i filtret under vingmurarna, varvid tatkärnan påverkades av vågor. Tatkärnan konstaterades vara intakt och filtermaterial spolades ner för att ersätta det skadade filtret. Inget läckage uppträdde i samband med skadorna.

Skadorna beskrivs i följande referenser:

- *Lennart Bernell: "Grundläggning, fyllningsarbeten och skador hos jorddammar", Internt Vattenfall, datum saknas.*
- *Korrespondans mellan Ture Nilsson, Vattenfall och Professor A Casagrande, Feb 1963.*

## Bilaga 3 Boden



Färdig år	1971	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd		$D_{\max} = 16 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
Höger damm	23 m	$D_{15} = 0,3 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,015 \text{ mm}$
Vänster damm	13 m	$D_{50} = 1,3 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,2 \text{ mm}$
Kränlängd		$D_{85} = 10 \text{ mm}$	$d_{85} = 3 \text{ mm}$
Höger damm	139 m		Finjordshalt = 47%
Vänster damm	490 m		
		$D_{50}/d_{50} = 6,5$	$D_{15}/d_{15} = 20$

Anläggningen som färdigställdes 1971 är belägen i Luleälven. Höger fyllningsdamm är grundlagd på berg, vänster fyllningsdamm på berg och naturlig morän. Båda dammarna är konstruerade med en smal, vertikal tätkärna av morän med ett filterlager på upp- och nedströmssidan av tätkärnan. Fyllningsmassorna på uppströmssidan består av sten och på nedströmssidan av morän.

Under byggnadstiden uppstod kraftigt läckage genom fångdammen, varför tätjordsfyllningen i höger damm delvis packades i flera meter djupt vatten. Detta medförde att fullgod packningsgrad ej kunde erhållas. För att förbättra tätkärnans täthet planerades att en stålspons skulle slås ner på en sträcka av 55 m från utskovet i den högra dammen när fyllningen låg på nivån +109 m. Detta misslyckades och en slits uppschaktades ner till nivån +103 m. Sponten slogs härifrån ned till berg, där så var möjligt. Detta lyckades dock ej överallt, utan sponten stannade bitvis i de naturliga marklagren. I samband med spontslagningen uppstod sprickor i den packade moränen.

Vid dämningssupptagningen hösten 1971 bildades sättningsgropar i uppströmsskanten av dammkrönet vid bland annat sektion 0/035 och 0/050. Intill ledmuren vid utskovet uppstod ett läckage med materialtransport.

Sättningar i dammen rapporterades 1972 i nedströmsslänten. En tilltagande läckagevolym noterades innan sjungropen uppträdde. I en mätbrunn (nr 6) närmast utskovet i höger damm, skedde en sättning med ett djup av 0,3 m under våren 1972.

---

Vid en överdämning, som skedde 1979, noterades ett parti rostfärgat grus i strandkanten nedströms dammen, vilket kan tyda på en läckvattenström. Färgningen bedömdes ha funnits i flera år.

I november 1983 uppträdde omkring 15 mindre sjunkgropar i dammens nedströmsslänt mellan sektion 0/010 och 0/105. Samtliga gropar var små i ytan, men den djupaste av dem rapporterades vara 3 m djup. Groparna låg fördelade utefter två linjer längs dammen på en sträcka av ca 80 m. Läckage hade noterats vid olika tidpunkter och vid tidpunkten för den större gropens uppkomst noterades ett grundvattenstånd som var ca 0,2 m högre än normalt i området. Ett läckage fanns i kanalkanten, ca 30 m nedströms om ledmuren. Ingen materialtransport kunde dock noteras. Läckaget kunde bara noteras vid låg vattenyta.

Inför dämningshöjningen på 0,5 m 1986 beslutades om undersökningar vid det skadade området invid spanten. Proverna visade att moränen som packades i vatten omlagrats och skiktvis innehöll ensgraderade permeabla silt-, och sandskikt, samt en del skikt med stenig sand. Dessa sandskikt bedömdes utgöra läckageväg för det läckvatten som trängde fram nedströms ledmuren.

Materialet i tätkärnan varierade i lagringstäthet. Lösa skikt påträffades mellan nivåerna +102,5 till +103,0 m och mellan +101,0 och +102,0 m. Under nivå +99,0 m var jorden löst lagrad, vilket medförde att jorden flöt in i foderröret vid provborrningarna. Den naturliga marken under dammen bedömdes dock vara fast lagrad

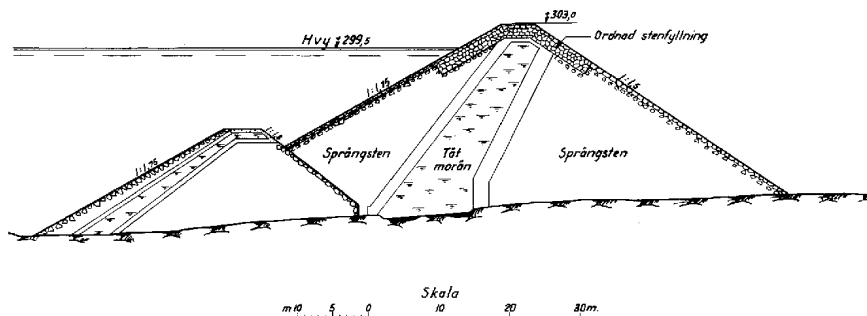
Ett mätöverfall installerades nedströms höger damm för att kontrollera läckaget. Vid dämningshöjningen på 0,5 m steg grundvattennivån i dammen med upp till 0,4 m. Läckaget har sedan dess varit stabilt, men tros delvis gå bredvid mätöverfallet.

1991 noterades flera nya djupa håligheter i nedströmsslänten av höger damm. Dessa bedömdes bero på att jordmaterialet i ytan spolats ner av regnvatten i håligheter mellan stora stenblock i fyllningen.

## Bilaga 4 Grundfors

Tvärsektion av stenfyllningsdamm

Största höjd 25 m



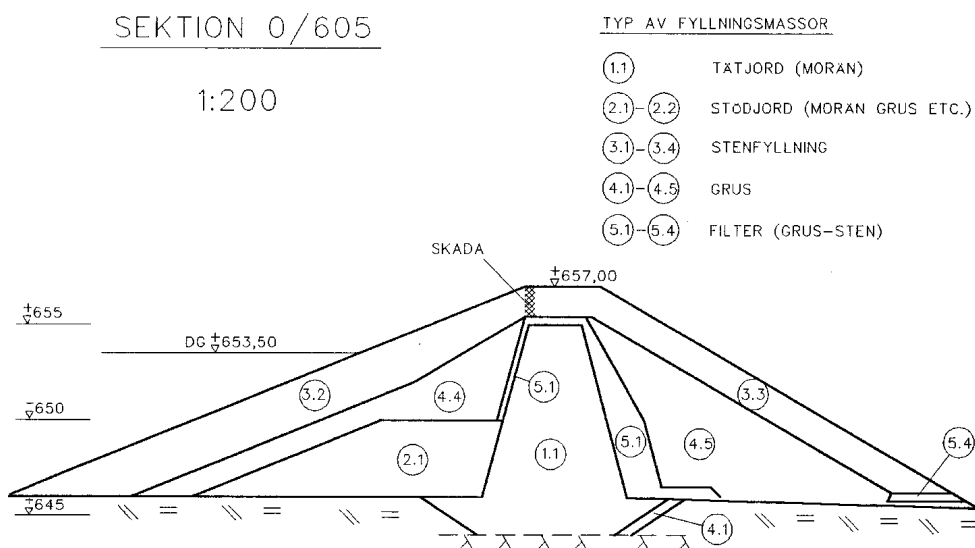
Färdig år	1958	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	30 m	$D_{\max} = 16 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
Krönlängd	565 m	$D_{15} = 0,7 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,02 \text{ mm}$
		$D_{50} = 1,7 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,05 \text{ mm}$
		$D_{85} = 6 \text{ mm}$	$d_{85} = 0,3 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 65 %
		$D_{50}/d_{50} = 34$	$D_{15}/d_{15} = 35$

Anläggningen som färdigställdes 1958 är belägen i Övre Umeälven. Stenfyllningsdammen delas av en intagskonstruktion i betong. Dammens högsta höjd är 25 m, krönbredd 4,9 m och krönlängd 480 m. Dammen grundlades på berg och tätkärnan våtpackades, utom invid betongkonstruktioner och andra svåråtkomliga ställen där torrpäckning skedde.

1993 rapporterades mindre insjunkningar under magasinsytans nivå i uppströmslänten. Dessa fylldes igen med grusmassor samma år. Inga läckageförändringar noterades. På grund av mätöverfallets dåvarande konstruktion är det oklart om hela läckageflödet mättes.

Resultaten från nuvarande läckagemätningar är ej kända, eftersom de ej rapporteras vidare från driften av anläggningen.

## Bilaga 5 Grundsjöarna



Färdig år	1972	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	44 m	$D_{\max} = 64 \text{ mm}$	$d_{\max} = 64 \text{ mm}$
Krönlängd	1800 m	$D_{15} = 2 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,02 \text{ mm}$
		$D_{50} = 10 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,125 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 80$	$D_{15}/d_{15} = 100$	$D_{85} = 30 \text{ mm}$	$d_{85} = 3 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 45 %

Anläggningen består av tre jorddammar, varav den högsta är 44 m. Anläggningen färdigställdes 1972 och är belägen i Ljusnan. Den skadade dammdelen är en ca 11 m hög jorddamm med krönbredden 4 m och krönlängd 600 m. Tätkärnan är central, vertikal och torrpäckades. Tätkärnan omges av filter och stödjordsfyllning. Dammen är grundlagd bitvis på berg bitvis på naturlig morän.

Ökande porvattentryck noterades i tätkärnan mellan 1983 fram till 1990 då tätkärnan avtäcktes. Den stigande grundvattennivån i tätkärnan och nedströms fyllning visade sig genom ett successivt ökande läckage. Läckaget var dock ej möjligt att mäta vid denna tidpunkt.

1990 uppträdde i vänster anslutningsdamm en mindre sjungrop med utbredningen  $0,4 \times 0,5 \text{ m}$  och ca 1,6 m djup. Gropen var belägen i dammkrönets uppströmssida rakt över underliggande zon för uppströmsfiltret. Tätkärnans krön avschaktades och befanns befinna sig på i stort sett teoretisk nivå. Inga ytliga skador kunde noteras. Provboringar visade dock att tätkärnan var skadad av inre erosion på ett djup av ca 5 m under tätkärnans krön, där frisjunkning på 1,4 m noterades i samband med boringen. Mätningar visade att porvattentrycket i tätkärnan var betydligt högre i dess övre del än vad som teoretiskt kunde förväntas.

Grundvattennivåerna registrerades ofta under den tid undersökningarna pågick och befanns bitvis vara högre än de teoretiskt antagna, vilket skulle tyda på defekter eller inhomgeniteter i tåtkärnan.

Efter det att undersökningarna genomförts utfördes en ombyggnad av det skadade partiet av dammen. I samband med bortschaktningen gjordes noggranna observationer för att om möjligt klarlägga skadorna i dammen. Dammen byggdes om på en sträcka av 5 m åt respektive håll ut från skadan och på en sträcka av ca 30 m längs dammkrönet. Dammen byggdes här upp med nya material för tåtkärna och filter. Även urspolning av finmaterial i erosionsskyddet i sektionen hade skett, varför även denna del ersattes.

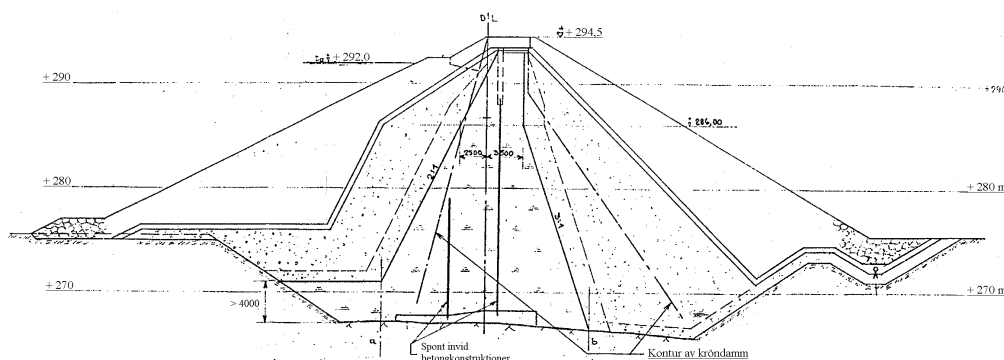
I samband med ombyggnaden noterades att en passage (med en yta av ca 0,5 m<sup>2</sup>) fanns genom tåtkärnan. Denna del av tåtkärnan saknade helt finmaterial. Skadan i dammen bedömdes ha uppkommit genom inre erosion, vilken i sin tur orsakats av hydraulisk uppspräckning och förekomst av grovt material i nedströmsfiltret. Den inre erosionen bedömdes vidare ha förekommit under en längre tid.

Erosionen hade troligtvis börjat i nedströmsfiltret och avancerat genom tåtkärnan till uppströmsfiltret. Håligheten i krönet har sedan uppstått när kaviteten, som uppstått i uppströmsfiltret, arbetat sig upp genom dammen.

Ett dränagesystem har nu konstruerats nedströms dammen. Övervakningen och instrumenteringen har ökat.

- *Eurenius J, Sjödin G: "Grundsjöns regleringsdamm, reparation av dammskada", VBB, 1991.*
- *Eurenius J, Marklund L: "Sinkholes och läckage", VBB 1990.*

## Bilaga 6 Hällby



	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätjärna</u>
Färdig år	1970	
Höjd	30 m	$d_{\max} = 64 \text{ mm}$
Krönlängd	120 m	$d_{15} = 0,025 \text{ mm}$
	$D_{\max} = 64 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,5 \text{ mm}$
	$D_{15} = 1,5 \text{ mm}$	$d_{85} = 10 \text{ mm}$
	$D_{50} = 8 \text{ mm}$	Finjordshalt = 48 %
	$D_{85} = 50 \text{ mm}$	$D_{15}/d_{15} = 60$
	$D_{50}/d_{50} = 16$	

Anläggningen som färdigställdes 1970 är belägen i Ångermanälven. Dammens högsta höjd över grundläggningsnivån är 30 m, krönbredd 3,7 m och krönlängd 400 m. Dammen grundlades dels på berg, dels på naturlig morän. Jorddammen är av konventionellt utförande med en central, vertikal tätjärna av morän, omgiven av filter och stödjord samt täckt med sprängstensfyllning. Dammen är delad i en höger och en vänster del på respektive sidor om intags och utskovskonstruktionen i betong. Enligt en PM från byggtiden ersattes stora delar av nedströmsfiltret med materialet benämnt ”stödjord”. Inga uppgifter har kunnat finnas om ”stödfyllningen” uppfyllede motsvarande kornfördelning som ”filtermaterialet”. Dammen är försedd med spont invid betongkonstruktionerna.

Under den regnriska perioden i september 1985 noterades en sjunkgrop i vänstra anslutningen till dammens betongkonstruktioner. Sjunkgropen var lokaliserad i uppströmslänten nära dammens krön och hade ett djup av ca 0,7 m. Volymen uppskattades till ca 7 m<sup>3</sup>. Under samma period som sjunkgropen uppkom noterades en ökning av det uppmätta läckaget från ett normalvärde på omkring 0,35 l/s till ca 3,3 l/s.

Läckaget hade dock ej mätts under månaderna innan sjunkgropen uppträdde, varför det är oklart om läckaget ökade successivt eller varit grumligt. Det är möjligt att läckaget tidvis var ännu högre än det uppmätta maxvärdet. När sjunkgropen noterades sänktes magasinet av med 0,8 m medan de geotekniska underökningarna genomfördes.

Raskratern grävdes upp ner till sänkingsgränsen. Läckaget höll sig under den kommande veckan på en konstant nivå och var fortsatt klart. Därefter beslutades att dammens tätjärna och fyllning skulle återställas enligt de ursprungliga ritningarna och magasinsnivån höjdes till dämningens gränsen.

Undersökningarna visade på skador i tåtkärnan i båda dammdelarnas bottenparti. Tåtkärnan var lös och flytbenägen på en sträcka av 15 m ut från betongdammen i vänstra jorrdammen och på en sträcka av 10 m i den högra. I den vänstra dammen konstaterades filtret ha sjunkit ner för att fylla ut tomrummet efter den skadade tåtkärnan.

Den troligaste skadeorsaken bedömdes vara att bergsprickor, som korsar grundläggningssytan under tåtkärnan, orsakat urspolningar av finmaterial med påföljande inre erosion. I de understa 0,5 m av tåtkärnan har vid uppförandet stenmaterial bortsorterats för att undvika stenseparation. Det är möjligt att den kvarvarande jorden varit erosionsbenägen pga detta. En möjlighet är att injekteringszonen i berget inte hade givit önskvärd täthet vid anläggningens uppförande.

Erosion, antingen i fina sprickor eller i jordslag, bedömdes ha lett till uppkomst av kaviteter som vandrat upp genom dammens tåtkärna tills skadan uppstått i dammens krön. Vidare bedömdes skadan ej ha orsakats av dammens filter, vilka ansågs ha en bra gradering. Stenseparation bedömdes ej heller ha skett i dammen. Nedströmsfiltret var intakt och inga förändringar av korngraderingen kunde konstateras, varför slutsatsen drogs att finmaterialet ej spolats ut den vägen.

1986 injekterades området för sjunkgropen och dammen reparerades. Injektering genomfördes både av materialet i tåtkärnan och i underliggande berg. Injektering utfördes i två rader med en blandning av cement-bentonit, varefter utrymmet mellan dessa fylldes med silikatbruk. Berginjekteringen utfördes inledningsvis med standardcement. På grund av stora vattenförluster i vissa borrhål gick man dock över till silikatbruk. Totalt injekterades 407 m<sup>3</sup>. Efter injekteringen bedömdes tåtkärnan i de reparerade områdena ha motsvarande fasthet och täthet som i övriga delar av dammen, dvs som hårt packad morän.

Läckaget minskade stötvis två gånger under injekteringsarbetet, och minskade långsamt däremellan. När injekteringen avslutats hade läckaget minskat från 2,7 l/s till 0,7 l/s. Under de följande månaderna minskade läckaget ytterligare till ca 0,17 l/s, vilket är det lägsta uppmätta vid anläggningen.

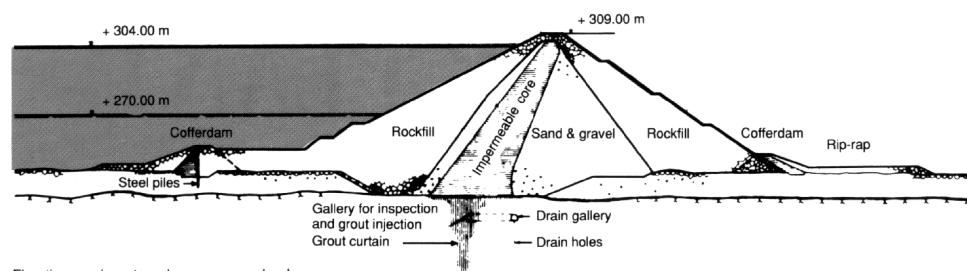
Instrumenteringen utökades i samband med tätningsarbetena och övervakningen sker nu av läckage och vattenståndsrör. I rören mäts temperaturprofilen, förutom nivån för vattenståndet. Vidare görs läckagemätning på den sida där det tidigare läckaget förekommit.

Händelseförloppet finns närmre beskrivet i följande referens:

- *Bronner N, Fagerström H and Stille H: "Bedrock Cracks as a Possible Cause of Leakage in Two Swedish Dams", Q 61, R 55, ICOLD, San Francisco, 1988.*
- *Dahlin O, Fagerström H: "Hällby kraftverk, reparation av jord-dammarna 1985 - 1986", VBB, 1987.*



## Bilaga 7 Höljes



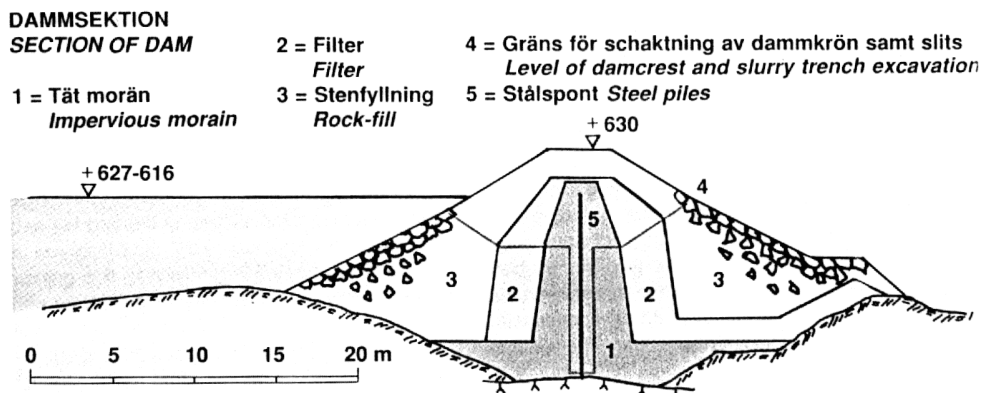
Elevations are in metres above mean sea level.

Färdig år	1961	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	80 m	$D_{\max} = 200 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
Krönlängd	350 m	$D_{15} = 0,9 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,06 \text{ mm}$
		$D_{50} = 16 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,3 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 53,3$	$D_{15}/d_{15} = 15$	$D_{85} = 100 \text{ mm}$	$d_{85} = 2,5 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 36 %

Höljes dammanläggning som är belägen i Klarälven färdigställdes 1961. Anläggningens fyllningsdamm har en krönlängd av 350 m och är konstruerad med ett ca 10 m brett krön. Högsta höjd är 80 m och tätkärnan är utförd med torrpackningsmetoden. Dammen är grundlagd på berg.

1987 noterades sättningar och sprickor i nedströmskanten av dammens krön vid en kabelränna på en sträcka av 100 - 150 m. Undersökningar visade att skadan berodde på en utglidning pga det kraftiga regnandet under perioden innan skadan upptäcktes. Skadan bedömdes ej vara orsakad av inre erosion. Dammen har sedan dess hållits under utökad övervakning, men inga ytterligare sättningar har noterats.

## Bilaga 8 Juktan



Färdig år	1977	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tät kärna</u>
Höjd	2600 m	$D_{\max} = 250 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
Krönlängd	660 m	$D_{15} = 32 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,025 \text{ mm}$
		$D_{50} = 95 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,22 \text{ mm}$
		$D_{85} = 200 \text{ mm}$	$d_{85} = 4 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 431,8$	$D_{15}/d_{15} = 1280$	$D_{85} = 200 \text{ mm}$	$d_{85} = 4 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 36 %

Juktan som togs i drift 1979 är belägen i ett biflöde till Umeälven. Anläggningen var ett pumpkraftverk och har numera konverterats till ett vanligt kraftverk. Till anläggningen hör tre invallningsdammar i huvudsak grundlagda på morän, men damm 1 är även grundlagd delvis på berg. Dammarnas höjd är som högst 18 m, krönbredd 4 m och total krönlängd ca 2 600 m. Tät kärnan är central, vertikal och utfördes med torrpackningsmetoden. Filtermaterialet utgörs av finkornig sprängsten från tunnelschaktningen för anläggningen. Filtermaterialet placerades utan att ha siktats till lämplig gradering.

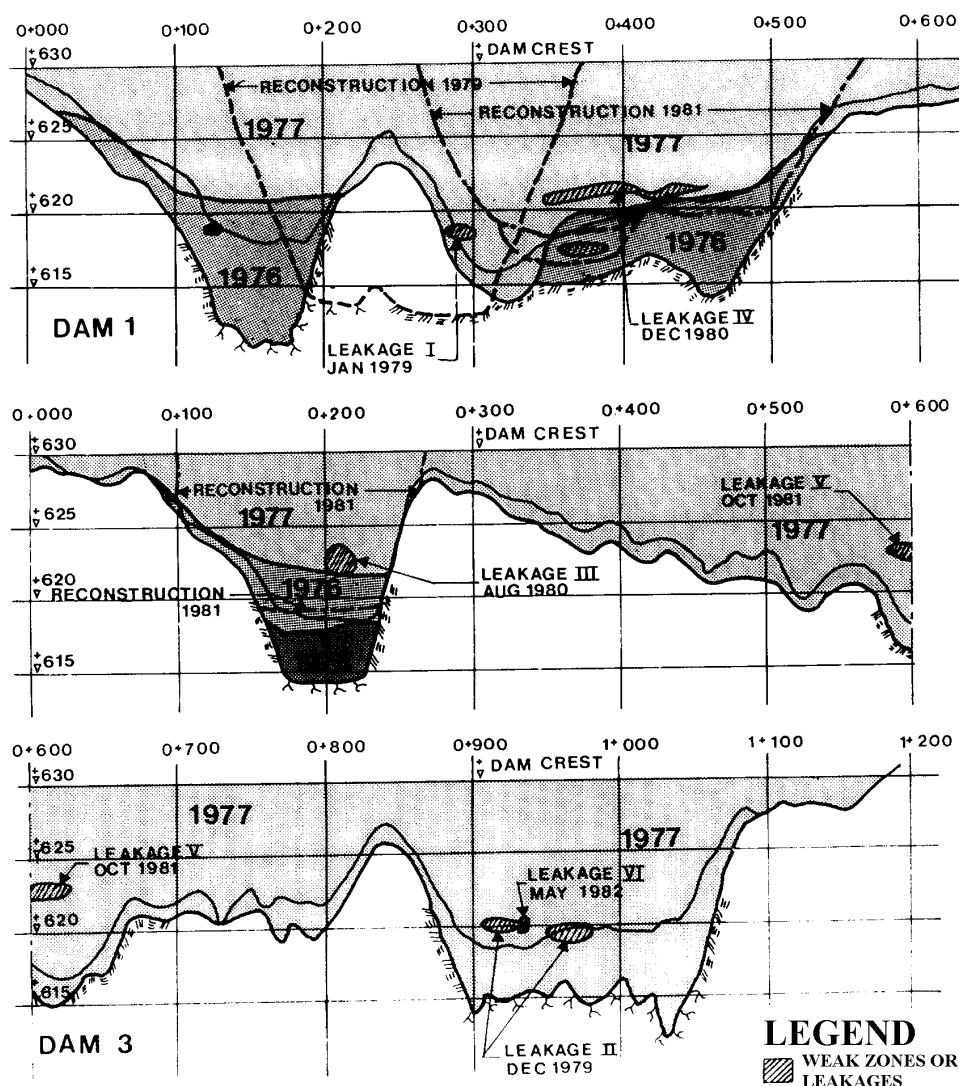
När dämningnivån togs upp för första gången efter dammens färdigställande 1977 uppträdde ganska omedelbart läckage. De flesta av dessa var lokaliserade till lågpartierna där dammarna är grundlagda på jordlager. Läckvattnet var grumligt av eroderat finmaterial. Undersökningar påvisade att inre erosion uppträtt. Erosionskanaler och valvbildning kunde konstateras i tät kärnorna.

Stenseparation kunde konstateras både i uppströms-, och i nedströmsfilter. Till "filter" användes som ovan nämnts finare delar av sprängsten från schaktningar av tunnlar för anläggningen. Materialet var grovt och separation uppkom vid utläggningen till en sådan grad att filtret på sina stället inte alls uppfyllde filterkraven mot tät kärnan. Håligheter fanns mellan större stenpartiklar och urspolning av finmaterial kunde konstateras. I en damm var filtret fruset under nivån för den aktuella dämningen innan reparationerna inleddes.

En tendens till större koncentration av stenmaterial kunde konstateras i de yttre, mot filtren liggande, skikten av tåtkärnan. Inga genomgående separerade skikt av stenmaterial noterades dock i tåtkärnan. Även ett antal lösa partier med ett par meters utbredning fanns i kärnan. Dessa var dock ej av en sådan utbredning, eller av en sådan konsistens, att de ensamma hotade kärnans tätande funktion.

Skadorna tätades efterhand som de uppträdde med cement-bentonit injektering.

Totalt sex större läckage uppträdde fram till 1982. Det allvarligaste inträffade 1981 i en sektion där dammhöjden var 15 m. I detta fall hade nästan hela tåtkärnan eroderat bort, varför denna del av dammen måste byggas om.



Det huvudsakliga skälet till de uppkomna skadorna på dammarna var att filtermaterialet, bestående av sprängsten med litet styckefall från tunnelarbeten, bitvis var alltför grovt för att kunna verka som filter mot moränen i tåtkärnan.

Filter och tåtkärna lades ut i alltför tjocka lager, vilket skapar en sågtandad övergång mellan zonerna, vilket bidrog till stenseparation i gränserna mellan

lagren. I dessa områden skedde ursköljning av finmaterial. Tjäle uppstod dessutom i området mellan filter och tätkärna, åtminstone på uppströmssidan, pga snabba magasinshöjningsförändringar och upprepad nerkyllning.

Dammarna lagades i omgångar tills slutligen hela dammarnas hela längd försågs med en slits fylld med en betong-cementblandning. Slitsfyllningen var genom cementblandningen självhårdnande till en plastisk massa. I slitsen nedsattes slutligen en stålspons innan blandningen helt hade härdat. Denna tätning utfördes i damm 1 under 1982 och i de övriga två dammarna under 1983. I de partier där tätkärnans grundläggning låg över sänkingsgränsen slogs spanten ner i undergrunden till ett sådant djup att hydrauliska gradienten beräknades bli mindre än 2. Detta bedömdes vara tillräckligt lågt för att hindra att inre erosion skulle uppträda under spontväggen.

Även nedströmsdränaget förbättrades i samband med ombyggnaden.

Nedströms grundvattennivå har varit konstant stigande vid anläggningen sedan idrifttagningen. Grundvattennivån har dock alltid följt magasinshöjningens trend.

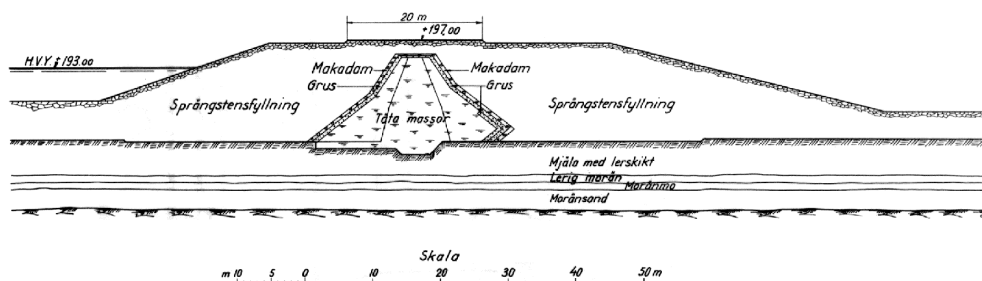
Händelseförloppet finns närmre beskrivet i följande referenser:

- *Kjellberg R, Norstedt U and Fagerström H (1985): Leakage in and reconstruction of the Juktan earth and rockfill dams. Transactions of the 15th International Congress on Large Dams, Lausanne, Francisco, June 1991, vol 5, pp 257 - 272.*
- *Lennart Bernell: "Grundläggning, fyllningsarbeten och skador hos jorddammar", Vattenfall.*

## Bilaga 9 Kilforsen (Imnäs)

### TVÄRSEKTION AV STENFYLLNINGSDAMMEN

Största höjd 23 m



Färdig år	1953	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	28 m	$D_{\max} = 64 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
Krönlängd	240 m	$D_{15} = 0,8 \text{ mm}$	$d_{15} = \text{saknas}$
		$D_{50} = 2 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,25 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 8$	$D_{15}/d_{15} = \text{saknas}$	$D_{85} = 16 \text{ mm}$	$d_{85} = 5 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 46 %

Anläggningen färdigställdes 1953 och är belägen i Fjällsjöälven nära dess utlopp i Ångermanälven. Anläggningen består av ett antal stenfyllnings-, och betongdammar. Till anläggningen hör också ett antal invallningsdammar. Den skadade fyllningsdammen har en högsta höjd av 28 m över berg, krönbredd minst 7 m och en krönlängd om 240 m. Dammdelen grundlades mestadels på berg och tätkärnan våtpackades.

Ett antal mindre sjunkgropar noterades 1993 i den vänstra delen av fyllningsdammen, som ansluter till intagens betongkonstruktion. Gropen återfylldes. Ingen förändring i läckage noterades under den period sjunkgropen uppträdde. Skadan undersöktes ej. Man bedömde att skadan troligtvis berodde på att finmaterial sköljts ner i den underliggande grövre sprängstensfyllningen. Stora block kunde noteras i dammens kröndel. Groparna återfylldes.

I vänster fyllningsdamm, intill intagsdammens vänstra vingmur noterades 1994 en sjunkgrop med dimensionerna  $0,5 \times 0,5 \text{ m}$  och djupet  $0,8 \text{ m}$ . Gropen uppkom i ungefär samma sektion som de tidigare skadorna. Hålen rekommenderades att bli återfyllda utan att närmre undersökningar utfördes. Skadan bedömdes bero på att finmaterial spolats ner i den underliggande grövre fyllningen. Groparna återfylldes.

1995 uppstod ytterligare en sjunkgrop i änden av vänster vingmur, i ungefär samma sektion som de tidigare. Även denna skada bedömdes bero på att finmaterial spolats ner i den underliggande grövre stenfyllningen. Området invid ledmurarna kan dock ha påverkats av de höga flöden som uppträdde under dessa

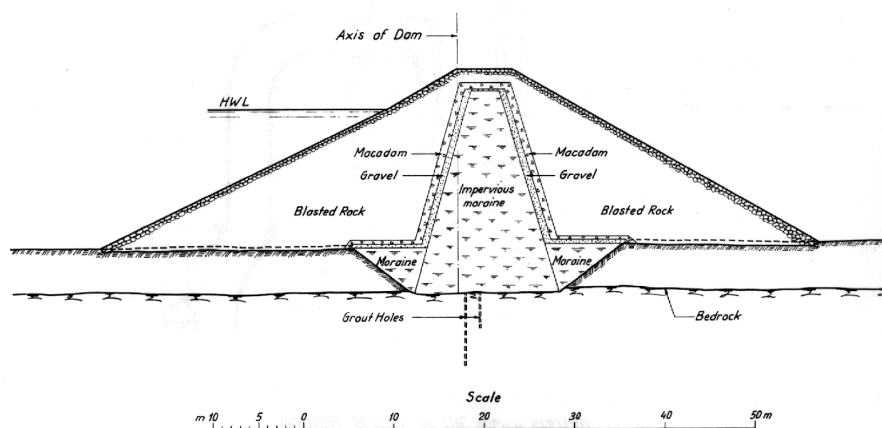
år. Inga läckage har dock noterats under någon av händelserna. Inga tecken på att inre erosion förekommer har noterats. Gropen återfylldes med morän. Skadorna har ej återkommit. Eventuellt läckage mäts dock ej i dagsläget.

Två större sjunkgropar noterades 1994 i **Imnäsdammen**, som är belägen uppströms tunnelintaget. Groparna uppstod i högra fyllningsdammens nedströmssida intill höger ledmur, mellan utskovsmonlit och stängsel. Groparna var ca 1 - 1,5 m djupa. Detta område överspolades vid de höga flödena 1993, när vatten spolade över ledmuren. Skadan bedömdes ha uppkommit genom att finmaterial spolats ner och fyllt ut utrymmen mellan underliggande större block i fyllningen. Inget läckage noterades i samband med att skadan uppträdde. Ingen antydning till läckage kunde noteras varken i anslutning till ledmurens slut eller i släntfooten. Inga mätanordningar finns dock för att mäta läckaget.

## Bilaga 10 Lasele

## GROSS SECTION OF THE ROCK-FILL DAM

Maximum Height 25m



Färdig år	1956	Nedströmsfilter	Tät kärna
Höjd	25 m	$D_{\max} = 64 \text{ mm}$	$d_{\max} = \text{saknas}$
Krönlängd	300 m	$D_{15} = 1,4 \text{ mm}$	$d_{15} = \text{saknas}$
		$D_{50} = \text{saknas}$	$d_{50} = \text{saknas}$
$D_{50}/d_{50} = \text{saknas}$	$D_{15}/d_{15} = \text{saknas}$	$D_{85} = \text{saknas}$	$d_{85} = \text{saknas}$
			Finjordshalt = 42 %

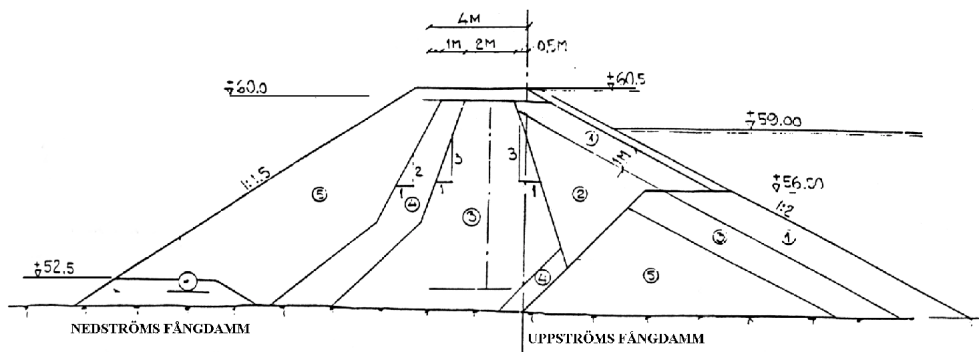
Anläggningen som färdigställdes 1956 är belägen i Ångermanälven. Anläggningen består av två stenfyllningsdammar och betongkonstruktioner med en total krönlängd av 844 m. Den skadade dammdelen är en stenfyllningsdamm med höjden 25 m, krönbredden 6 m och krönlängden 300 m. Fyllningen av tät kärnan påbörjades enligt torrpäckningsmetoden med en vattenkvot i tätjorden på omkring 8 %. Denna metod övergavs dock efter två veckor, varefter resterande del av tät kärnan utfördes med våtpäckningsmetoden med en vattenkvot omkring 12 %. Dammdelen är grundlagd på berg och befintliga moränlager.

I augusti 1990 observerades två sjungropar i uppströmslänten ungefär vid dämmningsgränsen. Hålen var bågge ca  $2 \text{ m}^2$  vid ytan och omkring 0,5 m djupa. Ingen läckageförändring noterades före eller efter det att hålen uppträdde. Två sjungropar noterades även i höger strandanslutning ca 100 - 120 m uppströms stationen, vid dammens anslutning till naturmark. Hålen var ca  $3 - 4 \text{ m}^2$  med djupet 0,5 m.

Sommaren 1991 uppträdde ytterligare en sjungrop mellan dämmnings-, och sänkingsgräns. Dessa var belägna ca 50 m från utskovet och hade utbredningen ca  $1 \text{ m}^2$  och djupet 0,5 m. Provgropar grävdes vid detta tillfälle i dammen.

Inventeringen av nedströmsfiltret pekar på ett  $d_{15}$  på 1,4 mm vid en siktning av material mindre än 64 mm. Grövre material kan ha bortsorterats innan siktningen, vilket ytterligare skulle öka värdet på  $d_{15}$ . Inga mätningar av läckage sker för närvarande.

## Bilaga 11 Lenninge



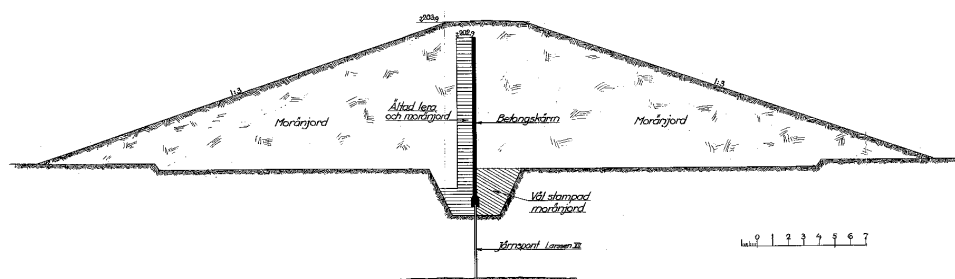
Anläggningen som färdigställdes 1981 ligger i Voxnan. I maj 1984 skedde en sättning på uppströmssidan ca 7 m från stödmuren. Hålet hade utbredningen 1,5 × 3,0 m med djupet 1,6 m. En sjunkgrop uppträdde på nedströmssidan ca 5 m från stödmuren i april 1991. Denna hade utbredningen 1,5 × 2,0 m och djupet 2 m.

I juni, då vattennivån var avsänkt till nivån +57,50 m (krönhöjd +60,5 m) för arbeten på höger strand, schaktades jorddammens filter och den skadade uppströmsdelen av tät kärnan ur till 3 m djup under krönet. Schaktningen gjordes på en sträcka mellan 5 och 20 m från stödmuren. Först avtäcktes nedströmssidan och då ingen skada på tät kärnan påträffades avtäcktes även uppströmssidan.

På nivån +57,5 m, ca 5 m från stödmuren, påträffades fyllning av blålera i tät kärnan. Där blålera påträffades togs den bort och ersattes med siltig morän ner till nivån ca +57,0 m. Ny morän påfördes utefter den avschaktade befintliga tät kärnan och packades med grävmaskinens skopa. Fiberduk lades ut, varefter ett filter av naturgrus och slutligen sten lades ut som ny stödfyllning. Inga uppgifter om eventuellt läckage finns att tillgå. Ingen läckagemätning utförs vid anläggningen.



## Bilaga 12 Leringsforsen



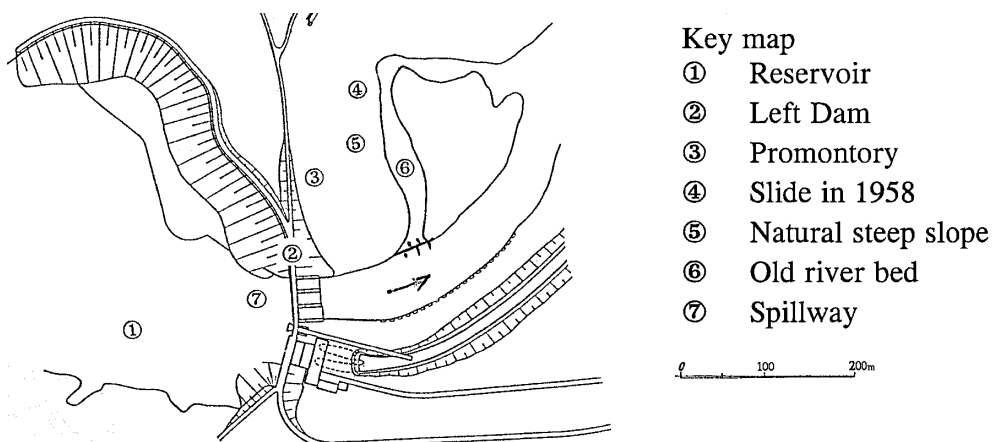
Färdig år	1944	
Höjd		Den avskärande konstruktionen utgörs av en tätskärm av betong med ett en meter brett lager puddlad lera på uppströmssidan.
Höger damm	8,5 m	
Vänster damm	13,0 m	
Krönlängd		
Höger damm	370 m	
Vänster damm	375 m	

Anläggningen som färdigställdes 1944 ligger i Gimån som är ett biflöde till Ljungan. Fyllningsdammen, som delas i en höger och en vänster del av intags- och utskovskonstruktion, är som högst 13 m och grundlagd på morän i sin hela längd. Krönets bredd är 5 m och längden 745 m.

Dammens tätande konstruktion består av en betongskärm med ett puddlat lerlager på uppströmssidan. Fyllningen består av relativt finkornig morän, vilket medfört en konstant hög grundvattennivå i nedströmsfyllningen och tidvis vattensjuka områden nedströms dammfoten. Grundvattennivån har tidvis varit i markytan vid ställverket och orsakat läckage in i maskinstationen. Detta har åtgärdats med utbyggnad av dräneringssystemet i två omgångar. Ingen läckagemätning sker vid anläggningen.

I augusti 1993 noterades sättningsspropar i fyllningsdammens anslutning till intags- och utskovskonstruktionen i betong.

## Bilaga 13 Långbjörn



Färdig år	1959	
Höjd	38 m	Erosion i undergrunden vid sidan av dammens
Krönlängd		anslutning utan påverkan av dammens filter.
Höger damm	23,9 m	
Vänster damm	31,5 m	

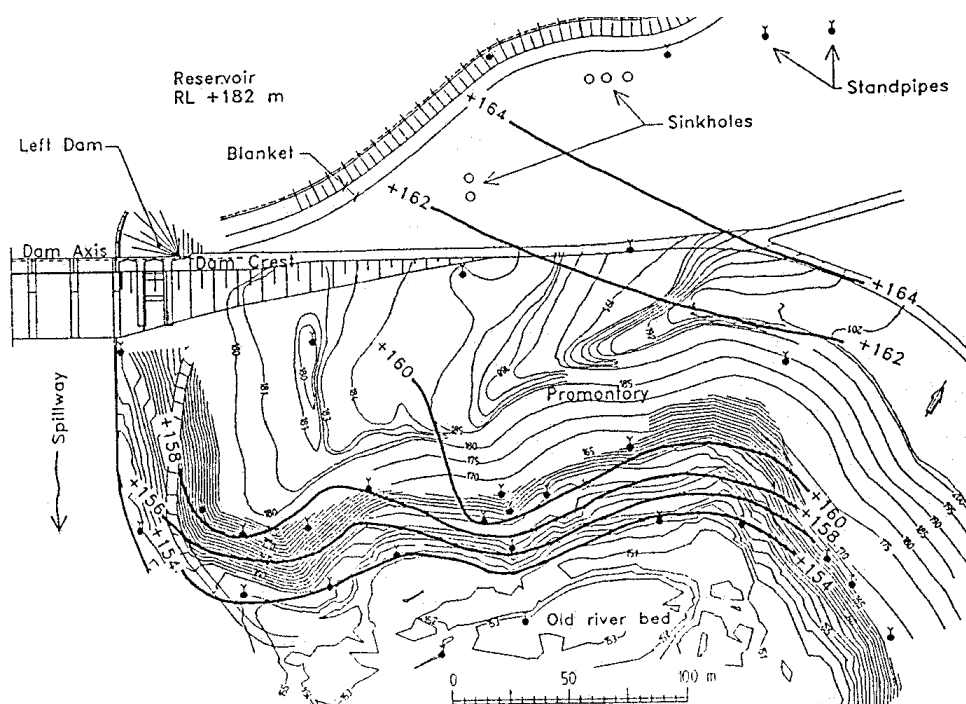
Anläggningen som färdigställdes 1959 är belägen i Ångermanälven. Anläggningen utgörs av vänster jordfyllningsdamm och höger stenfyllningsdamm, vilka separeras av en intags-, och utskovskonstruktion i betong. Skadorna inträffade i naturlig mark i området nedströms vänster damm. Dammen är grundlagd på morän och berg och har en höjd av 31,5 m. Krönet har en bredd av 5 - 6 m och längden 590 m. Dammen är försedd med en central, vertikal tät kärna av morän. Den skadade delen utgörs av en nipudde som ansluter mot dammen och på så sätt utgör en förlängning av dammen som håller uppe magasinet. Slänten är belägen mot en gammal och nu torrlagd älvfåra.

Läckage och erosion uppträdde i nipan i samband med dämningssupptagningen 1958. Mindre ras har uppträtt vid ett flertal tillfällen i nedströmsslänten i nipan nedströms anläggningen. Dräneringar och utläggning av filter har därför utförts i omgångar. Ett nytt ras inträffade 1966. Dräneringsåtgärder i form av filter och ytliga brunnar utfördes 1958, 1966, 1972 och 1986. Trots detta uppträdde en ny utglidning i slänten hösten 1994.

Från 1990 till 1993 har även ett antal mindre sjunkgropar noterats i gränsområdet mot magasinet. Groparna har troligtvis orsakats av hålrum som uppkommit på stort djup, troligen på grund av inre erosion i någon av gränsövergångarna mellan siltmaterial och öppna sten-, och grusavlagringar. Dessa kaviteter har sedan arbetat sig upp till ytan.

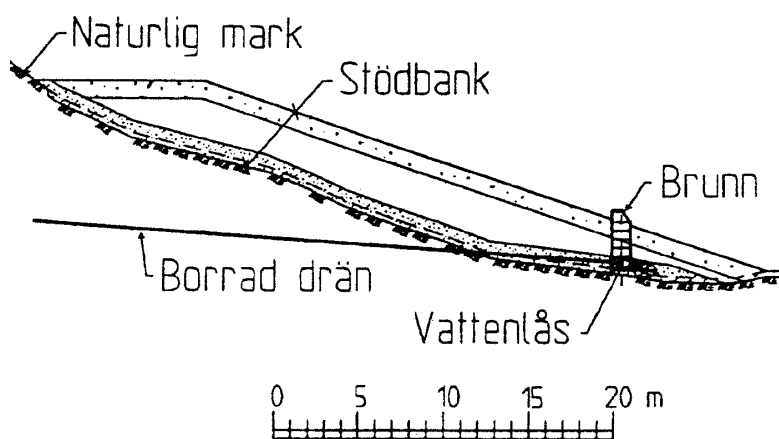
1990 noterades ett tiotal sjunkgropar med ett djup av 0,5 - 1,0 m på den naturliga planen i närheten av magasinet. Hålen igenfylldes utan närmre under- sökning. 1992 uppkom 3 - 4 nya hål i närheten av groparna.

1993 uppträdde två nya sjunkgropar i samma område. Troligtvis hade båda sjunkgroparna tidigare återfyllts, men återkommit. De nya sjunkgroparna hade ett djup av ca 0,5 m.



Inga onormala variationer i läckageflödet noterades vid dammen under den period som sjunkgropen uppträdde. Höga grundvattenstryck har dock noterats i nipan i nedströmsslänten mot den gamla älvfåran. Vattentåndsroren i nipan har, trots de genomförda dräneringsåtgärderna, visat en konstant stigande trend fram till 1994, då en förnyad borrning utfördes. Det ökande grundvattenstånden beror troligtvis på igensättning av det befintliga dräneringssystemets utlopp i kombination med transport av finmaterial och tillväxt av järnbakterier i samband med att läckageflödet mynnar ut i det fria. Genom att nya horisontaldräner borrades 1995 kunde grundvattenstrycket avsänkas till en normal nivå. Även en stabiliserande stödutfyllning av dränerande material lades ut längs nipsläntens tå.

Förstärkningen med horisontella dräner inborrade i släntens tå och därefter utlagd stabiliserande fyllning av dränerande material framgår av följande figur.



Samtliga rapporterade sjunkgropar fylldes igen 1995.

Problemen vid anläggningen finns beskrivna i följande referenser:

- Nilsson, Å and Mikaelsson, J: "Ground water pressure increase and internal erosion at Långbjörn Dam", *Repair and Upgrading of Dams, Symposium in Stockholm*, pp 207 - 217, June 5 - 7, 1996.
- Nilsson Å, Olsson G: "Dränageborrning säkrar dammanläggning", *Borrsvängen* 4/95.

## Bilaga 14 Långhag

Färdig år	1939	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd		$D_{\max}$ = saknas	$d_{\max}$ = saknas
Vänster damm	3 m	$D_{15}$ = saknas	$d_{15}$ = saknas
Höger damm	5 m	$D_{50}$ = saknas	$d_{50}$ = saknas
Krönlängd		$D_{85}$ = saknas	$d_{85}$ = saknas
Vänster damm	100 m		Finjordshalt saknas
Höger damm	15 m	$D_{50}/d_{50}$ = saknas	$D_{15}/d_{15}$ = saknas

Anläggningen som färdigställdes 1938 är belägen i Dalälven. Fyllningsdammen är utförd med en central tätkärna av betong. Dammen delas i en höger och en vänster del av intags-, och utskovskonstruktionen i betong. Skadorna har inträffat i den högra dammen. Denna dammdel är grundlagd på berg i sin helhet.

Under en inspektion 1993 upptäcktes en mindre sjunkgrop i området där höger jordfyllningsdamm ansluter till betongdammen. Sjunkgropen uppträdde omkring 10 m från där asfalten slutar och hade en utbredning i krönnivån på  $0,5 \times 0,5$  m och ca 0,1 m djup. Regnvatten rinner in över dammens krön i området. Inget läckage noterades i sambandet med att sjunkgropen uppträdde. Några läckagemätningar utförs dock inte.

En undersökning utfördes 1994. Det skadade området schaktades av till en meter under krönet, varefter utgrävningen avbröts då inga skador kunde konstateras. Materialet bedömdes vara homogent och oskadat. Inga tecken på att inre ersoion eller djupare sättningar skulle ha förekommit kunde konstateras. Skadan bedömdes vara av ytlig art, med begränsad utbredning och troligtvis orsakad av regn. Området utgör en stillastående nivå för avrinnande ytvatten med en lokal vattensamling på krönet i punkten där skadan uppträdde. Detta bedöms kunna ha bidragit till gropens uppkomst. Efter att undersökningarna avslutats fylldes hålet upp. Skadan har ej återkommit.

**Bilaga 15 Långströmmen**

Färdig år	1961	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd		$D_{\max} = 32 \text{ mm}$	$d_{\max} = \text{saknas}$
Höger damm	28 m	$D_{15} = 1 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,15 \text{ mm}$
Vänster damm	25 m	$D_{50} = 3,4 \text{ mm}$	$d_{50} = 2 \text{ mm}$
Krönlängd		$D_{85} = \text{saknas}$	Finjordshalt = 27 %
Höger damm	1800 m		
Vänster damm	700 m	$D_{50}/d_{50} = 1,7$	$D_{15}/d_{15} = 6,7$

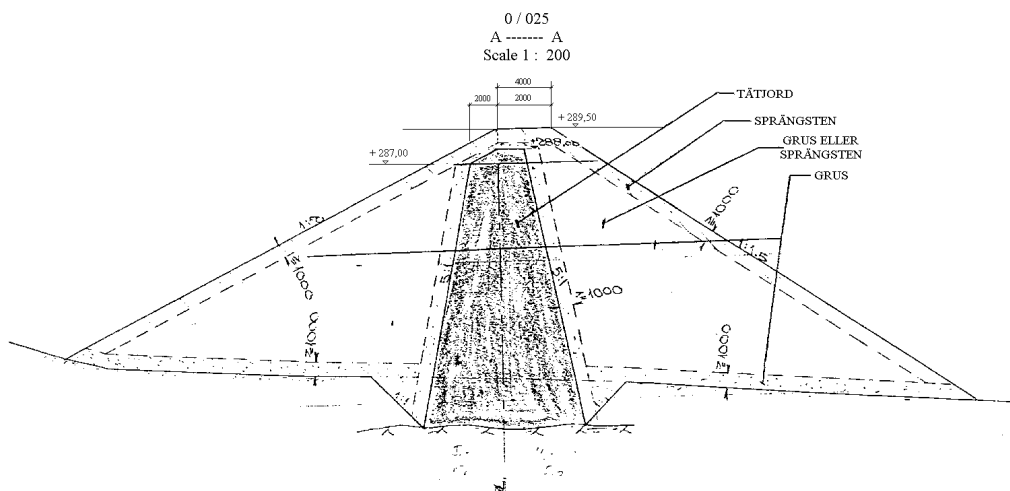
Anläggningen som färdigställdes 1961 är belägen i Ljusnan. Anläggningen utgörs av två större fyllningsdammar med en högsta höjd av 28 m, krönbredd 4 m och en total krönlängd om 2 500 m. Fyllningsdammarna är utförda med tätkärna av morän och är grundlagda på berg och befintliga moränlager. Nedan beskrivna skada uppträdde i damm nr 5.

I områden längs nedströms dammtå av den berörda fyllningsdammen smälter snön vintertid pga mynnande läckageflöde. Mindre sjunkgropar förekommer längs krönet och i nedströmsfyllningen. Dessa har uppträtt då och då under 10 - 20 års tid. 1997 grävdes skadan fram varvid det visade sig att det fanns språng i stödfyllningen i dammen, med grova block överlagrade med finmaterial. Skadan bedömdes ej vara sjunkgropar, beroende på inre erosion, utan att finmaterial silat ner i dammens stödfyllning vid nederbörd.

I nedströmstån finns en 3 - 3,5 m tjock, stabiliserande tryckbank av sprängstensfyllning. Ytan har avjämnats med finmaterial och det är i detta område skadorna inträffat. På ett flertal ställen går det att sticka ner käppar 1 - 1,5 m i fyllningen där finmaterialet sköljts ner i den underliggande stödbanken.

Undersökningar har utförts med georadar vid tre tillfällen för att försöka lokalisera läckvägar. Inga skador har kunnat konstateras i tätkärnan med georadarundersökningarna.

## Bilaga 16 Lövön



Färdig år	1973	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	15,5 m	$D_{\max} = \text{ca } 100 \text{ mm}$	$d_{\max} = \text{ca } 100$
Krönlängd	1380 m	$D_{15} = 0,4 - 3,0 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,018 - 0,04 \text{ mm}$
		$D_{50} = 1,5 - 65 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,12 - 2,5 \text{ mm}$
		$D_{85} = 25 - 100 \text{ mm}$	$d_{85} = 2 - 18 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 30 - 40%

Anläggningen som färdigställdes 1973 är belägen i Faxälven. Anläggningen består av fyra fyllningsdammar och en betongdel. Fyllningsdammarna är försedda med en torrpackad tätkärna av morän, som bitvis är grundlagd på berg och bitvis på morän. Tätkärnan skyddas enligt ritningarna av filterlager på respektive sidor om denna. Enligt vissa uppgifter lades det dock inte ut några särskilda filterlager, eftersom stödfyllningen av sandigt grus bedömdes även kunna utgöra filter. Dammarnas höjd är 15 m. Det är dock 20 - 25 m till berggrunden i det skadade partiet. Krönet har en bredd av minst 4 m och den totala längden för fyllningsdammarna är ca 1 380 m.

1983 upptäcktes en sättning i den vänstra fyllningsdammens uppströmslänt (sektion 0/034) ca 20 - 25 m från fyllningsdammens anslutning till betongkonstruktionerna. Sjunkgropen hade en volym på 6 - 8 m<sup>3</sup>. Området började undersökas 1985.

I maj 1986 noterades en ny sättning i samma sektion som den föregående. Vid ett besök 11 dagar efter den första noteringen hade skadan fördjupats. En undersökning följde, varvid det konstaterades att dammens tätkärna hade skadats av inre erosion. I ett antal undersökta punkter på olika djup saknades finmaterial i moränen.

Genom infiltrationsförsök i foderrör vid undersökningsborrningar konstaterades att även den hydrauliska konduktiviteten var hög i dessa partier. Porvattentrycket

var också högt i tåtkärnan och nedströms stödfyllning. Vidare bedömdes att filtret på nedströmssidan var igensatt. Temperaturmätningar i vattenståndsrör nedsatta i kärnan bekräftade att läckage och inre erosion förekom. Eventuella förändring i läckage kunde inte noteras i samband med någon av incidenterna, eftersom direkta mätningar inte kunde göras då nedströms stödfyllning är grundlagd på genomsläpplig naturlig jord med stor mäktighet.

1992 beslutades att berggrunden under dammens tåtkärna, samt även kontaktzonen mellan tåtkärnan och berggrunden, skulle injekteras. Kompletterande injekteringar utfördes 1993. Injektering av dammkroppen planerades, men detta blev dock aldrig utfört. En tryckbank lades ut 1994 längs dammens nedstömstå för att öka dammens stabilitet.

Nya borringar 1997 visade att tåtkärnan på några nivåer saknade finmaterial i det tidigare skadade området. Grundvattenstånden och temperaturen mättes i vattenståndsrör och variationer i mätresultaten visade att inre erosion fortgår i dammen. Finmaterial antogs bli transporterat ut i nedströmsfiltret eller in i sprickor i berggrunden. Mindre kaviteter kan även förekomma i tåtkärnan. Dessa bedömdes med tiden kunna orsaka nya sjunkgropar i området för de tidigare.

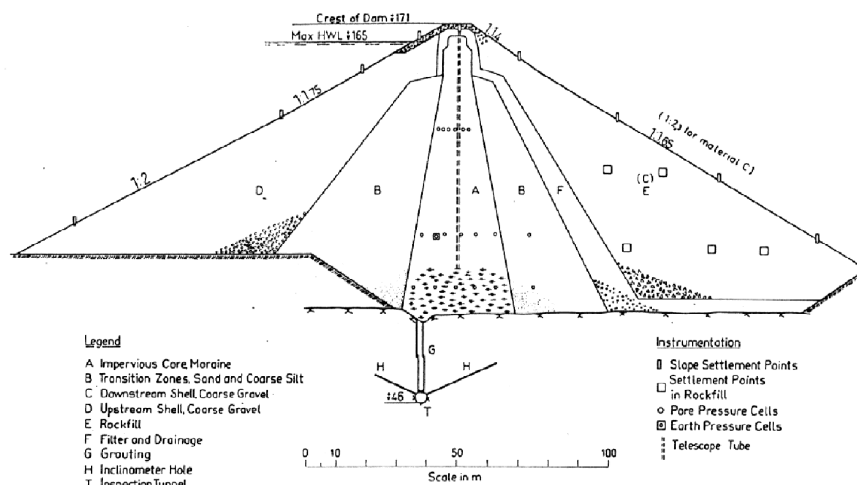
Övervakningsutrustningen och mätintensiteten har utökats i området sedan den senaste skadan noterades.

Under 1998 genomfördes ombyggnad av den skadade delarna av dammen. Områden med grusliknande material observerades på flera ställen i tåtkärnan. Tåtkärna visade sig ha en lägre finjordshalt (ned till 10%) i den mest skadade sektionen än i de övriga sektionerna (finjordshalt 30 – 40%). Troligen hade de minsta partiklarna transporterats bort från det skadade området. En förhöjd andel finmaterial påträffades också i nedströmsfiltret. Arbetet finns beskrivet i nedanstående referens.

- *Examensarbete – Dokumentation och undersökningar av skador i Lövödammen. Joacim Ericsson och Mattias Jender, Luleå Tekniska Universitet, december 1998.*



## Bilaga 17 Messaure



The Messaure Dam, Cross-Section 1719

Färdig år	1963	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tät kärna</u>
Höjd	101 m	$D_{max} = 64 \text{ mm}$	$d_{max} = 16(250) \text{ mm}$
Krönlängd	1900 m	$D_{15} = 1,4 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,012 \text{ mm}$
		$D_{50} = 10 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,10 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 100$	$D_{15}/d_{15} = 117$	$D_{85} = 30 \text{ mm}$	$d_{85} = 1,4 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 40 %

Anläggningen är belägen i Stora Lule älv ca 30 km nordost om Jokkmokks samhälle. Dammen är en 101 m hög och ca 1900 m lång zonerad stenfyllningsdamm med central tät kärna av morän grundlagd på berg. På de ca 600 m där dammen är som högst utgörs stödfyllningen av sprängsten i övrigt har grusfyllning använts.

Byggnadsarbetena pågick mellan 1957 och 1963. Arbetena inleddes med att lösa avlagringar på upp till 60 m vid den högra dammanslutningen bortschaktades. När avschaktningen färdigställdes drevs en inspektionstunnel under dammens högsta parti, mellan sektion 1/500 och 1/860, ca 25 m under bergnivån. Berggrunden utgjordes huvudsakligen av gnejs och granit, men på några ställen förekom lokala svaghetszoner. I samband med utsprängningen av inspektionstunneln upptäcktes en större krosszon som innehöll ”tjocka lager av lera och ett antal kloritzoner”. Berggrunden injekterades vid tät kärnans uppströmssida i dubblad rader till ca 25 m djup.

Tät kärnan våtpackades med undantag för gränslagren mot berg eller betong som torrpackades. Övergångsmassorna utgjordes huvudsakligen av sand och silt, men stora variationer i materialsammansättningen förekom. Nedströmsfiltret av grus var tidvis av ”mycket varierande beskaffenhet” och problem med hög sten- och blockhalt, separation och packning förekom.

Dämningsupptagningen påbörjades tidigt 1962. I samband med att magasinet nådde full dämning sommaren 1963 uppkom två stora sjunkhål i dammkrönet.

Sjunkhålen uppkom vid teleskoprör belägna ca 40 m från varandra i dammens högsta parti, sektion 1/737 och 1/780, i det område där den stora krosszonen i berggrunden korsar dammlinjen. Observationer av avvikande förhållanden som skulle kunna ha samband med sjunkhålen beskrivs nedan.



### Observationer

Deformationsmätningar från inklinometerhål vilka borrats snett uppåt i berget från inspektionstunneln visade på att berggrunden över tunneln hävdes, totalt i storleksordningen 1-2 dm, under lång tid efter det att avschaktningen av lösa jordlager avslutats och dammfyllningen påbörjats.

Teleskoprör användes för övervakning av konsolideringssättningar i den våtpackade tatkärnan. Mätobservationerna visade på konsolideringssättningar i förväntad storleksordning förutom för de lägst belägna rördelarna där större rörelser än förväntat uppmättes. I teleskopröret i sektion 1/719 (motsvarande sektion 1/737 vid dammkrönet) uppmättes år 1960 en kollapssättning på 0,5 m i dammens bottenlager. Jordtrycksmätningar visade på ovanligt små horisontaltryck vilket tyder på valvbildning ovanför dem.

Under dämningen indikerade teleskoprörmätningarna i sektion 1/737 och 1/780 att sättningarna här var mindre och mer oregelbundna än i de övriga sektionerna, vilket antogs ha med hävningen och krosszonen i berggrunden att göra. I samband med att magasinet nådde full dämning i juli 1963 uppkom dock plötsliga sättningsrörelser som fortplantades uppåt utmed teleskoprören.

Under dämningen mättes vattenståndet i teleskoprören dagligen. Vattenytan i teleskoprören i sektion 1/737 och 1/780 försvann plötsligt vid en magasinsnivå av ca +145 i juni 1963 respektive +154 i juli 1963. (DG ligger vid + 165.)

I slutet av juli uppmättes ökade vertikal och horisontaltryck i sektion 1/780 ca 70 m under dammkrönet.

Sjunkhål upptäcktes på dammkrönet i sektion 1/737 och 1/780 i slutet av juli respektive i början av augusti. Rörelser observerades även vid mätbrunnar med teleskoprör i sektion 1/500 samt 2/425.

En grop ca 0,5 m i diameter och 0,5 m djup upptäcktes i sektion ca 1/680 ca 45 m nedströms dammfoten liksom en grop ca 1 m i diameter och ca 0,3 m djup ca 125 m nedströms dammfoten. Ca 1,5 månad tidigare hade en rännil upptäckts nedströms den senare gropan.

Ett vattenståndsrör beläget nedströms dammtån i sektion ca 1/700 visade ovanligt höga värden.

### **Akuta åtgärder och undersökningar**

Sjunkhålen föranledde en avsänkning av magasinet med 3 m och friläggning av tatkärnan mellan sjunkhålen. Sjunkhålet i sektion 1/737 var ca 1,6 m djupt och ca 4x2 m i ytan, uppskattningsvis med en volym av drygt 10 m<sup>3</sup>. Sjunkhålet i sektion 1/780 var ca 1,3 m djupt. Moränen närmast omkring teleskoprören var mycket lös och hade hög vattenhalt. Sondborring utfördes från tatkärnans krön runt teleskoprören. Sonderingarna visade att moränen i ett rörformat område, med diametern ca 1 m, var lös och vattenmättad till ett djup av drygt 20 m. Utanför detta område och under nivåerna där sonderingarna avslutades var moränen mycket hård. Det konstaterades att det var möjligt att ”röret” fortsatte i en annan riktning på lägre nivåer.

Återfyllning med morän gjordes av den uppschaktade delen av dammkrönet, varvid moränkärnans krön höjdes. Därefter återtog dämningen i magasinet.

### **Mätningar och observationer efter 1963**

Under de närmast följande åren gjordes vissa observationer av avvikelser i det aktuella området, dessa finns dock endast fragmentariskt dokumenterade.

Under sommaren 1964 uppkom ytterligare ett sjunkhål, denna gång vid teleskopröret i sektion 1/860. Av ett foto att döma hade det en ungefärlig utbredning av säg 1,5x1,5 m med ett djup av ca 0,5 m. Vid mätbrunnen i sektion 1/780 noterades fortsatta sättningar.

I maj 1966 registrerades en grumling av läckvattnet i sektion 1/660 i inspektionstunneln. Vattenprover visade att läckvattnet innehöll material av samma slag som fanns i den stora krosszonen. Grumlingen kvarstod vid mätningen i oktober. I juli 1966 registrerades en betydande ökning av läckvattenflödet vid sektion 1/738 i inspektionstunneln. I september 1966 visade

mätningen åter på normala värden. Under juli-augusti 1966 uppmättes en sättning av 162 mm på nivån +166,2 i sektion 1/780. I samma sektion observerades samtidigt en vattenståndshöjning på 2,3 m i ett mätrör beläget 50 m nedströms dammtån. Vid mätningar i september hade vattenståndet återtagit normal nivå.

Två mindre gropar observerades nedströms dammen år 1967. Den ena var belägen vid ca sektion 1/250, ca 10 m nedströms dammtån, och den andra vid omloppstunnelns utlopp ca sektion 1/550-1/600. Den senare hade 1969 ökat i storlek och var 1,7 m djup och 7x10 m i utbredning. Gropen igenfylldes med grus.

### **Utvärdering av långtidsmätningar t o m 1997**

Diagram över vertikalrörelser i kröndubbar visar ingen homogen bild av dammens sättningsrörelser. Bidragande orsaker till de ojämna sättningarna kan vara att själva mätbrunnarna lokalt påverkar rörelserna i krönet samt att ett flertal av mätdubbarna ligger intill teleskoprör där packningen av moränen utförts annorlunda än för dammen i övrigt.

I 5 vattenståndsror belägna nedströms dammens högsta parti har en svagt ökande trend iakttagits, vilken först påtalades 1991. Sedan 1994 har även svårförklarliga variationer noterats i dessa rör. Läckagemätning saknas.

### **Skadeförlopp, diskussion**

Orsaken till sjunkhålen antogs år 1963 vara inre erosion ”piping” i tätkärnans inre, mellan teleskoprören och håligheter i tätkärnan. Sprickor och håligheter i dammfyllningen antogs ha uppkommit som en följd av stora rörelser i berggrunden i ett tidigt skede av byggnadsfasen. Med hänvisning till att dammen var välbyggd och av lämpliga material, samt att inget synligt läckage förekommit förkastades möjligheten att insjunkningarna skulle ha koppling till läckage och materialtransport genom dammkroppen och berget. De observationer av avvikelser som gjordes under samma tidsperiod kommenterades inte vidare.

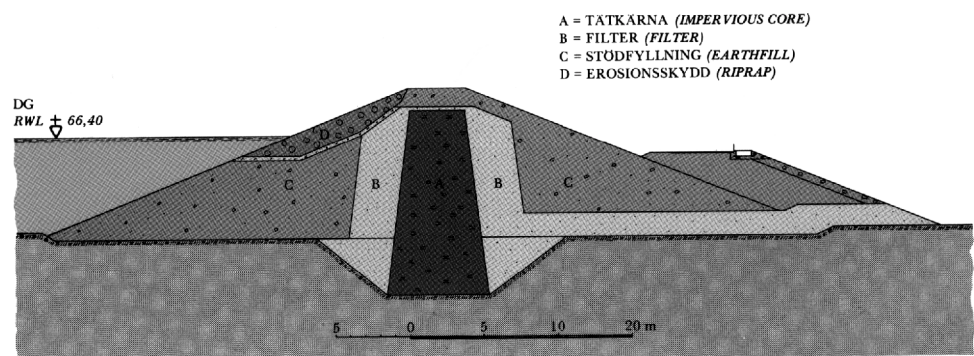
Med dagens erfarenheter av sjunkhål och inre erosion i fyllningsdammar som bakgrund, samt de observationer av bl a tillfälligt förhöjda grundvattenstånd och uppkomst av gropar nedströms dammen, förefaller det inte osannolikt att koncentrerat läckage kan ha förekommit

Då tätjorden runt teleskoprören packades med annan packningsmetod och vid lägre vattenhalt än den övrigt tätjorden, vilken våtpackades, har sannolikt konsoliderings- och vattenmättnadsättningar bidragit till att insjunkningar uppkommit i jorden runt ett flertal av teleskoprören. Större sjunkhål uppkom dock endast vid teleskoprören i anslutning till den stora krosszonen.

### **Referens**

- *Sammanställningen utgår från VASO rapport 99:9 ”Messauredammen. Dokumentation samt uppföljning av sjunkhål 1963.”*

## Bilaga 18 Näs



Dammsektion

Vertical section of dam

Färdig år	1978	Nedströmsfilter	Tätkärna
Höjd	9,5 m	$D_{\max} = 32$ mm	$d_{\max} = 16$ mm
Krönlängd	170 m	$D_{15} = 0,7$ mm	$d_{15} = 0,01$ mm
		$D_{50} = 2$ mm	$d_{50} = 0,1$ mm
$D_{50}/d_{50} = 20$	$D_{15}/d_{15} = 70$	$D_{85} = 10$ mm	$d_{85} = 1,5$ mm
			Finjordshalt = 45 %

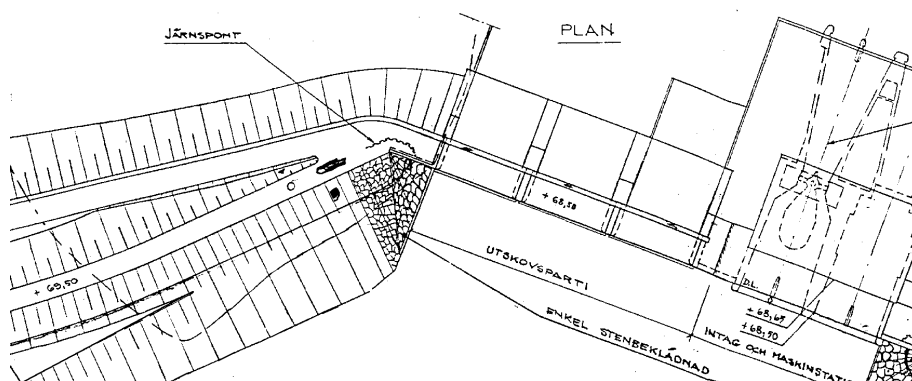
Näs anläggning är belägen i Dalälven. På platsen har funnits en gammal damm. Angivna uppgifter i faktarutan avser dock endast den nya fyllningsdammen. Denna nya fyllningsdamm färdigställdes 1978 och delas av en utskovs-, och intagskonstruktion. Högsta höjd över lägsta grundläggningsnivå är 18 m, krönbredd 4 m och krönlängd 500 m. Tätkärnan i den nya dammdelen utfördes med torrpäckningsmetoden. Närmast betongkonstruktionerna är dammen grundlagd på berg, i övrigt på befintliga moränlager. Betongkonstruktionerna är försedda med vingmurar. En spont utgår från mitten av vingmuren. Sponten böjer av 90° och följer sedan tätkärnan i dammlinjen. Det smala utrymme mellan spont och vingmur försvårade packningen i området.

Sättningar uppstod snart efter dammens färdigställande invid utskovs- och intagskonstruktionen. Skadorna fanns i det smala utrymme mellan den böjda sponten och vingmuren. Sättningarna som uppstod i både höger och vänster damm fylldes successivt igen.

I augusti 1985 uppträdde i vänster damm en ca 0,15 m djup sättning i vägbanan uppströms stålsPonten vid utskovskonstruktionen, i samma område där gropar tidigare fyllts igen. Skadan antogs bero på att fyllnadsmaterial spolats ut genom erosionsskyddet invid vingmuren vid utskoven. Gropen återfylldes med fyllningsmassor.

1988 uppträdde ett nytt sjunkgrop invid utskoven vid sponten i vänster damm.

Följande figur visar vänster damms anslutning med spont i vingmur intill utskovet.



Provtagningar visade att tåtkärnan var mycket löst lagrad vid spontens sida mot utskoven. Detta gällde speciellt delen från 2 - 3 m under dämmningsgränsen till bergytan. Det dåliga partiet hade en utbredning av 12 m, hela vägen längs sponten. Skjuvhållfastheten i materialet motsvarade halvfast lera. En urspolning av finmaterial kunde konstateras. Filtret var ej heller av tillräcklig dimension för att skydda tåtkärnan. Finmaterial saknades i tåtkärnan i området.

Intill dammfoten kunde en hålighet på 4 m<sup>3</sup> konstateras. Konerna vid vingmurarna, på bägge dammanslutningar till betongkonstruktionerna, förstärktes genom utläggning av en erosionsskyddsmatta fylld med cementbruk. En provinjektering utfördes då lämplig metod för att åtgärda skadan ej kunnat fastställas. Under borringarna och spårämnesförsök noterades en grumling i nedströms belägna grundvattenrör.

1989 beslutades om injektering av anslutningen mot utskoven med cement/bentonitbruk, samt kemisk injektering. Efterföljande kontrollborringar visade ingen eller mycket liten vattenförlust i området.

En sjunkgrop med dimensionerna 1×1×1 m uppstod i höger fyllningsdamm samma år. Gropen hade uppstått under den asfalterade farbanan och upptäcktes när ett vattenståndsror skulle nedborras. Rasgropen återfylldes med grusmaterial.

Mindre sättningar uppträdde under 1990-talets första hälft.

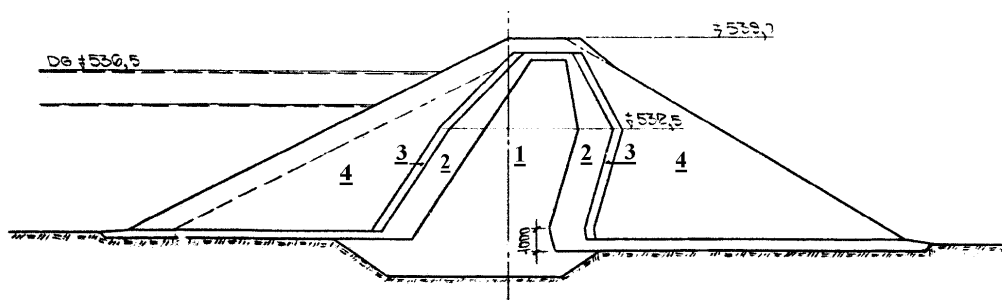
1996 noterades i juni två nya sjunkgropar vid utskoven i vänster damm. I dammkrönet var sättningen 1 × 2 m med ett djup av 0,05 m. I uppströmsslänten fanns en sättning ca 5 m nedanför skadan i krönet. Denna hade dimensionerna 0,4 × 0,4 m med ett djup av 1 m.

En fortsatt sättning har noterats i höger damm under 1990-talet och även kontrollrumsbyggnaden sätter sig, vilket kan tyda på att skadeförloppet fortgår i dammen. Temperaturmätningar och spårämnesförsök utförs. Läckagemätning sker dock ej vid anläggningen.

Händelseförloppet beskrivs i följande referenser:

- *Johansson S: "Localization and quantification of water leakage in ageing embankment dams by regular temperature measurements", ICOLD, Vienna, 1991.*
- *Johansson S, Berglund S: "Temperaturmätningar i fyllningsdammen vid Näs kraftstation, 1988 - 1991", Report 54, KTH, 1991.*

## Bilaga 19 Olden, Mjølkvattnet



Färdig år	1974	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd		$D_{\max} = 64 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
Höger damm	23 m	$D_{15} = 1,2 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,01 \text{ mm}$
Vänster damm	23 m	$D_{50} = 6 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,05 \text{ mm}$
Krönlängd		$D_{85} = 32 \text{ mm}$	$d_{85} = 3 \text{ mm}$
Höger damm	26 m		
Vänster damm	100 m	$D_{50}/d_{50} = 120$	$D_{15}/d_{15} = 120$
			Finjordshalt = 56 %

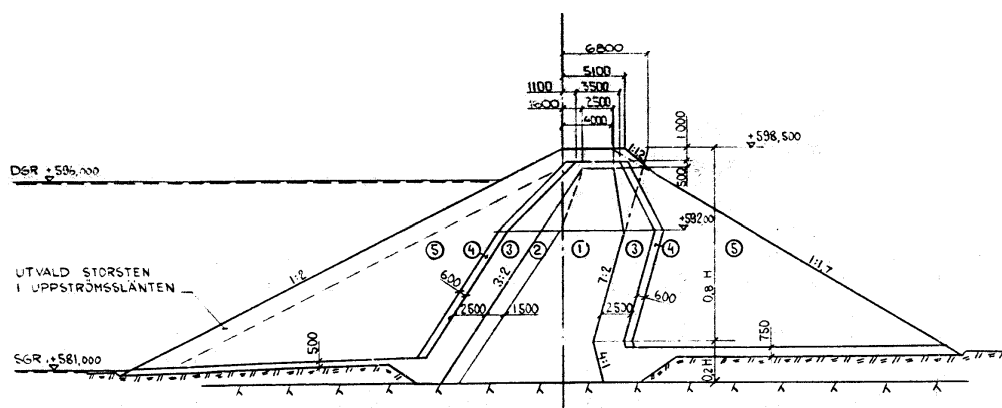
Anläggningen som färdigställdes 1974 är belägen i Långan, ett biflöde till Indalsälven. Till anläggningen hör två fyllningsdammar på respektive sida om dammens utskovs och intagskonstruktioner. Dammen har en högsta höjd av 23 m, krönbredd 4 m och längden 126 m. Dammen är grundlagd på naturlig morän.

Vid en besiktning 1989 upptäcktes en sjunkgrop i dammens uppströmsslänt, ca 40 m från höger anslutning till naturlig mark. Inga onormala läckage kunde noteras i samband med besiktningen. Dammkrönet höjd justerades i svackan. Inga undersökningar gjordes och orsaken till att skadan uppträdde är ej fastlagd.

Läckage genom dammen mäts endast manuellt vid besiktningar. Inga grundvattenrör finns vid anläggningen.



## Bilaga 20 Olden, Ö Oldsjön



Färdig år	1974	<u>Finfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	20 m	$D_{\max} = 64 \text{ mm}$	$d_{\max} = 64 \text{ mm}$
Krönlängd	750 m	$D_{15} = 0,8 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,075 \text{ mm}$
		$D_{50} = 7 \text{ mm}$	$d_{50} = 2 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 3,5$	$D_{15}/d_{15} = 10,7$	$D_{85} = 40 \text{ mm}$	$d_{85} = 40 \text{ mm}$
Finjordshalt = 65 %			

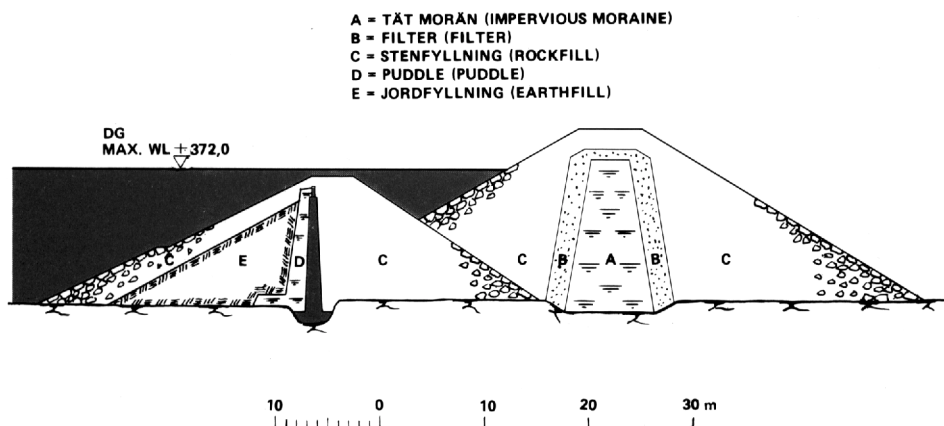
Anläggningen som färdigställdes 1974 är belägen i Övre Oldån som är ett biflöde till Indalsälven. Fyllningsdammen har en höjd om 20 m, krönbredd 5,1 m och krönlängd 750 m. Dammens tät kärna är till större delen grundlagd på berg. Fyllningsdammen är utförd med en tät kärna av morän. Tät kärnan är på bägge sidor omgiven av fin-, och grovfilter.

I samband med en besiktning 1983 noterades en insjunkning i krönets uppströmssida på en sträcka av 47 m. Skadan hade ett djup av 0,2 m. Detta bedömdes bero på sättningar i materialet orsakat av tjäle. Inga onormala läckage noterades i samband med att skadan uppträdde.

Vid en besiktning 1986 noterades ytterligare en svacka i dammens krön, denna gång ca 100 m från dammens högra anslutning till naturlig mark. Sonderingar utfördes i dammkrönet. Dessa påvisade inga defekter i form av inre erosion eller håligheter i tät kärnan. Dammkrönet justerades i de skadade områdena. Skadorna har ej återkommit.

Kontinuerlig läckagemätning utförs vid anläggningen. Inga onormala variationer har rapporterats från mätresultaten.

## Bilaga 21 Porjus



Porjus högra fyllningsdamm, principsektion. En äldre dammdelen till vänster.

Färdig år	1975	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd		$D_{\max} = 16 \text{ mm}$	$d_{\max} = \text{saknas}$
Höger damm	22 m	$D_{15} = 1,4 \text{ mm}$	$d_{15} = \text{saknas}$
Vänster damm	22 m	$D_{50} = \text{saknas}$	$d_{50} = \text{saknas}$
Krönlängd		$D_{85} = \text{saknas}$	$d_{85} = \text{saknas}$
Höger damm	1 200 m		
Vänster damm	235 m	$D_{50}/d_{50} = \text{saknas}$	$D_{15}/d_{15} = \text{saknas}$
			Finjordshalt = 37 %

Porjus var det första större kraftverket i norra Sverige. Största höjd över berg är 25 m, krönbredd 8 m och totala längden 1 435 m. Stenfyllningsdammen är uppdelad i två delar och är till största delen grundlagd på berg. Anläggningen färdigställdes 1975 och ersatte en äldre damm, som delvis ingår i den nya. Dammens tätkärna är vertikal och centralt placerad i dammen och utfördes med torrpackningsmetoden. Ett 3 m tjockt sandfilter är placerat på bägge sidor om tätkärnan.  $D_{15}$  i filtret är markant större än vad som idag rekommenderas.

En sjunkgrop uppträdde nästan omedelbart efter dammens idrifttagande 1976 i högra dammens krön i anslutningen till den äldre dammkonstruktionen, ungefär i sektion 0/940.

1979 uppträdde en ny sjunkgrop i krönet mot dammens uppströmssida i samma sektion som den föregående sjunkgropen.

I krönet i höger damm, ca 200 m från de föregående sjunkgroparna, hade 1982 ett antal små kratrar bildats i sektion 0/750. Krönet var dock så ojämnt vid denna tidpunkt att det var svårt att notera eventuella förändringar. En 0,5 m djup grop fanns bredvid mätbrunnen i sektionen. Detta hål förmodas ha funnits kvar sedan anläggningens uppförande. Inga läckageförändringar noterades i mätöverfallen som finns installerade nedströms denna del av dammen. Samtidigt noterades dock

---

läckagevatten från vänster damm på ett ställe vid järnvägsbankens släntfot intill betongmuren.

En ny sjunkgrop uppträdde i september 1985 på en ny plats i dammens krön, denna gång i sektion 0/390. Skadan bestod av en ca 1,5 m djup krater. Sektionen avschaktades och tätkärnan undersöktes. Det konstaterades att sprängstenen i överbyggnaden hade ett ojämnt styckefall. Materialet innehöll block med stora dimensioner med hålrum emellan. Finmaterialhalten var också hög och någon vattenspolning av fyllningen vid utläggningen tros ej ha utförts. Huvuddelen av vertikalfiltret på uppströmssidan var borta ner till nivån för dämmningsgränsen, varför nytt grus påfördes inom den skadade delen.

Ingen grumling kunde noteras i mätöverfallen under arbetets gång. Dagen efter noterades dock grumling i överfallet. Detta bedömdes bero på att vatten från arbetena avbördats delvis i nedströmsfyllningen. Grumlingen försvann därefter. Kontrollhål borrades 1986 för att verifiera att inre erosion ej uppträtt i tätkärnan. Tätkärnan konstaterades vara oskadad och väl packad. Sjunkgropen antogs bero på att filtermaterialet spolats ut i magasinet. Borrhålen återfylldes med en slurry som innehöll bentonit.

I maj 1993 ökade läckaget kraftigt, för att sedan avtaga fram till att nya sjunkgropar uppstod i juli 1993. Groparna var belägna i dammkrönets uppströmskant i samma område som 1995 (sektion 0/390). Sjunkgropen hade en diameter av 3 - 4 m och ett djup av 3 m. Samtidigt noterades att läckaget var större än vanligt. Gropen fylldes igen. I samband med provborrningar uppkom ett nytt hål med ca 0,5 m djup på samma ställe.

Undersökningar, som innefattande georadar, provborrning, borrhålsradar, temperatur och grundvattenståndsmätningar, utfördes för att fastställa orsaken till sjunkgropen. Zoner med förhöjt vatteninnehåll påträffades inom en bredd av ca 12 m dels ca 2 - 4 m ovan berggrunden, dels ca 12 - 16 m under dammkrönet. Inläckningen var stor i borrhålen, som träffade bergytan mellan de båda ursprungliga injekteringsraderna i berggrunden från dammens uppförande.

Borrningarna avbröts vid ett djup av 5 m i berg, på grund av att materialet i den igenfyllda sjunkgropen sjönk. Det bedömdes sannolikt att uppströms stödfyllning var löst lagrad och att borrningen orsakat sättningarna. I sektion 0/389 noterades en påtaglig erosionsskada i tätkärnan på nivån 11,5 - 15,0 m under krönet.

Borrningar utfördes även i nedströmsfiltret i sektion 0/392. Nära bergytan steg vatten och finmaterial in i röret och läckagevattnet i mätöverfallet grumlades, samtidigt som flödet ökade något. Detta bedömdes vara en möjlig läckagepunkt i dammen. Grundvattennivån under dammen och nedströms denna konstaterades vara hög.

Det skadade partiet beslutades 1994 bli injekterat med en blandning av sand/-bentonit/cement. Kontakt med de kringliggande rören med spridning av materialet konstaterades. Utbredning av slurryn förekom i nedströmsfiltret och läckvattnet i mätöverfallet grumlades, samtidigt som läckaget avtog.

Temperaturmätningar visade att läckaget genom tätkärnan i det skadade området efter injekteringen minskade med 90%, samt med 75% i de anslutande delarna.

Området med den största årliga temperaturvariationen har flyttats från nivån + 363 m till + 360 m. Slutsatsen är att det fortgår ett förhöjt läckage, dock på en annan nivå och med en lägre intensitet. Läckaget antogs troligtvis ha uppstått genom erosion mellan tätkärna och nedströmsfilter, följt av bakåtskridande erosion, tills läckaget nådde uppströmsfiltret och sjunkgropen uppträdde.

Även sprickor noterades i dammkrönet. Vidare noterades en större sättning i krönet vid anslutningsmonoliten till höger damm.

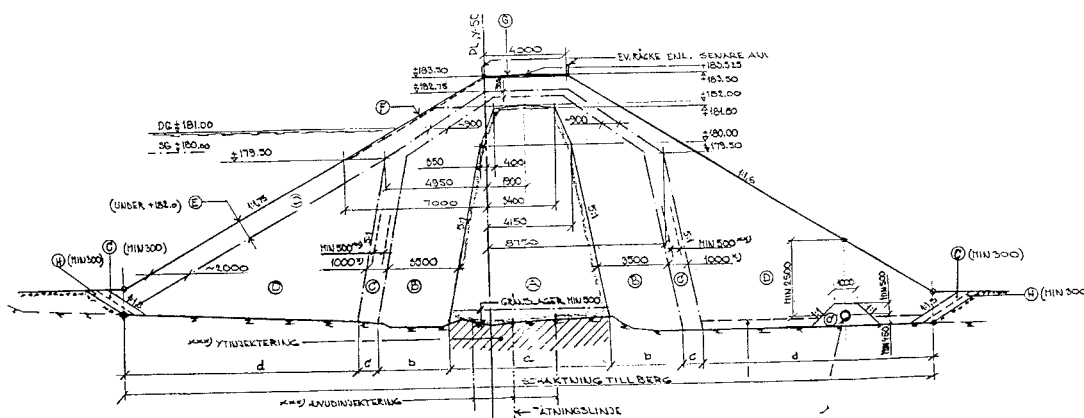
Ett flertal läckagetoppar har uppträtt sedan dammen togs i drift. Dessa sammanfaller dock ej med tidpunkterna då sjunkgropen uppträder. Läckaget minskade kraftigt efter det att injekteringarna hade utförts.

I det fall att ett förnyat läckage uppträder bedöms att detta kan lokaliseras tidigt med hjälp av den nu installerade övervakningsutrustningen.

De sjunkgroppsrelaterade händelserna vid anläggningen finns beskrivna i följande referenser:

- *Johansson B. Johansson S and Nilsson R: "Investigations and Repair of the Embankment Dam at Porjus Power Station", Repair and Upgrading of Dams, Symposium in Stockholm, pp 218 - 227, June 5 - 7, 1996.*
- *Johansson S. "monitoring during ongoing internal erosion and after restoration of the embankment dam at Porjus power station, Sweden", proc ICOLD congress, Q 68 - 5, p 94 - 96, Durban, South Africa.*

## Bilaga 22 Rengård



Färdig år	1970	Nedströmsfilter	Tätkärna
Höjd	20 m	$D_{\max} = 16 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
Krönlängd	444 m	$D_{15} = 0,6 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,02 \text{ mm}$
		$D_{50} = 3 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,25 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 12$	$D_{15}/d_{15} = 30$	$D_{85} = 10 \text{ mm}$	$d_{85} = 5 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 50 %

Anläggningen är belägen i Skellefteälven och färdigställdes 1970. Dammen är ca 20 m hög, krönbredden 4 m och krönlängden 444 m. Dammen är grundlagd på berg i hela sin längd. Tätkärnan utfördes med torrpackningsmetoden. Skadorna har uppkommit i vänster anslutningsdamm mot intaget.

1980 uppträdde en sjunkgrop på ca  $2 \text{ m}^3$  i tätkärnans kant i dammens anslutning till naturmark (sektion 0/020). Kratern var belägen i krönets uppströmskant och hade dimensionerna  $2,0 \times 1,5 \text{ m}$  med största djupet ca 1,2 m. Läckaget uppmättes kontinuerligt och var som mest 12 l/s under augusti 1980. Läckagevattnet var tidvis grumligt.

Under den följande månaden fram till att skadan undersöktes minskade läckaget fortlöpande till 3,5 l/s. Kratern återfylldes i slutet av september, varvid en ny grop med ungefär en tredjedel av den ursprungliga volym uppkom.

Vid sonderingar noterades kontakt med ett läckage ca 1 m över bergytan. Området injekterades, varefter läckaget upphörde. Injektering utfördes i berget och av kontaktzonen med tätkärnan. Skadan bedömdes ha orsakats av erosion nedströmsåt längs kontakten mellan dammkroppen och berg.

1993 uppkom ett nytt hål på ca  $1 \text{ m}^3$  i samma område (sektion 0/023), dock närmre krönets mitt. Läckage uppträdde även denna gång. Någon speciell variation av detta eller någon grumling kunde dock ej uppskattas. Det fanns vid denna tid dock ej möjlighet att noggrant mäta läckageflödet.

Tätkärnan schaktades av i området för gropen. Skador konstaterades även på bägge sidor om sponten invid intagsmonoliten. Under reparationsarbetet sjönk

arbetsmaskinen igenom på båda sidor om sponten. Täckärnan konstaterades bitvis vara porös i området och håligheter noterades vid bergytan. Det konstaterades att urspolning av material hade skett och att täckärnan var skadad av inre erosion. Det bedömdes att erosionen troligtvis uppkommit genom hydraulisk uppspräckning och förekomst av en lokal defekt i nedströmsfiltret, vilket ej förmått hindra urspolningen av material. Även tjälning bedömdes vara en bidragande orsak till skadorna i täckärnan. Berget konstaterades vara otätt ner till en meter under bergytan.

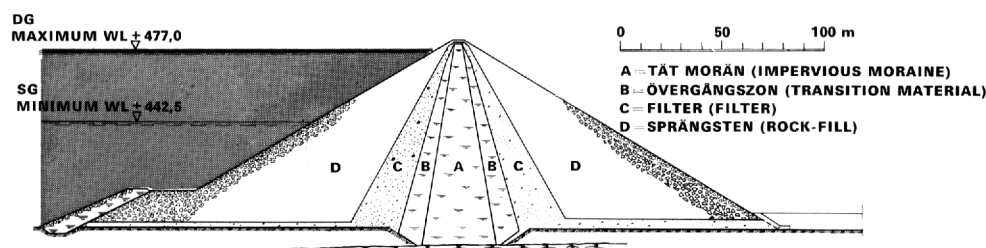
1994 reparerades skadan. Dammen stabiliserades med utläggandet av en nedströms stödbank, varefter en injektering av täckärnan utfördes. Berg, kontaktzon och de skadade partierna av täckärnan injekterades. Generellt sett var bruksåtgången stor i kontaktzonen och 4 - 7 m under dammkrönet, vilket tyder på att håligheter fanns i täckärnan.

Även höger damm undersöktes 1993 i anslutningen till betongkonstruktionerna. Även på denna sida kunde ett mycket löst parti konstateras på båda sidor om stålsponten invid betongkonstruktionerna. Skadorna antas ha uppkommit på liknande sätt som vid den vänstra anslutningen. Det skadade området injekterades samtidigt som det skadade området i vänster damm. Skadorna har ej återkommit.

Händelserna och åtgärderna finns beskrivna i följande referenser:

- *Enfors G: "Rengård västra jorddam skada 1980", VBB, 1980 09 24.*
- *Eurenius J, Pålsson S-O: "PM angående undersökningar i vänster jorddam 1993", VBB, 1993 09 20.*
- *Eurenius J, Pålsson S-O: "PM angående undersökningar i höger jorddam 1993", VBB, 1993 10 05.*
- *Pålsson S-O, Loman J-O: "Rapport från kontroll av injekteringsarbeten hösten 1993", VBB, 1994 01 24.*
- *Pålsson S-O, Loman J-O: "Rapport från kontroll av injekteringsarbeten hösten 1994", VBB, 1995 01 20.*

## Bilaga 23 Seitevare



Färdig år	1968	Nedströmsfilter	Tätkärna
Höjd		$D_{\max} = 16 \text{ mm}$	$d_{\max} = \text{saknas}$
Höger damm	10 m	$D_{15} = 3,7 \text{ mm}$	$d_{15} = \text{saknas}$
Vänster damm	106 m	$D_{50} = \text{saknas}$	$d_{50} = \text{saknas}$
Krönlängd		$D_{85} = \text{saknas}$	$d_{85} = \text{saknas}$
Höger damm	540 m		
Vänster damm	1450 m	$D_{50}/d_{50} = \text{saknas}$	$D_{15}/d_{15} = \text{saknas}$
			Finjordshalt = 46 %

Anläggningen som färdigställdes 1968 är belägen i Blackälven, ett biflöde till Lilla Lule älv. Stenfyllningsdammen är grundlagd på berg i hela sin längd. Dess högsta höjd över berg är 106 m, krönbredd 6 m och krönlängd 1 450 m. Dammen är försedd med en central, vertikal tätkärna, som byggdes upp med torrpäckningsmetoden.

Under dämningssupptagningen 1972 upptäcktes en insjunkning i krönets uppströmskant (sektion 1/257). Hålet var 2 till 3 m djupt och hade en diameter av 5 - 6 m. Ingen läckageförändring noterades. Skadan bedömdes bero på att finmaterial transporterats ner i den underliggande stödfyllningen.

Sprängstensfyllning lades ut i uppströmsslätten i det område där sättningarna skett, dvs ca 100 m höger om utskovet ned till nivån ca + 452 m som var rådande vattenstånd. Komplettering av nivåerna under detta skulle ske följande vinter, men utfördes ej på grund av isens dåliga bärighet.

1981 noterades 4 sjunkgropar i uppströmskanten av dammens krön (sektionerna 1/204 och 1/817). Den största gropen hade en diameter av 2 m och ett djup av 1,6 m. Områdena grävdes upp, men inga skador kunde konstateras på tätkärnan.

Sjunkgropen bedömdes bero på att finmaterial trillat ner i håligheter mellan de stora sprängstensblock i den del av dammens stenfyllning som utgörs av bombskydd. Blocken har ej separerats från det finare materialet ovanför. Skadetillfället föregicks av en period av kraftigt regnande.

Under augusti 1984 noterades ett större läckage i dammfoten i sektion 2/075. Som mest uppmättes ca 45 l/s. Ingen grumlighet noterades och läckaget försvann efter en månads tid.

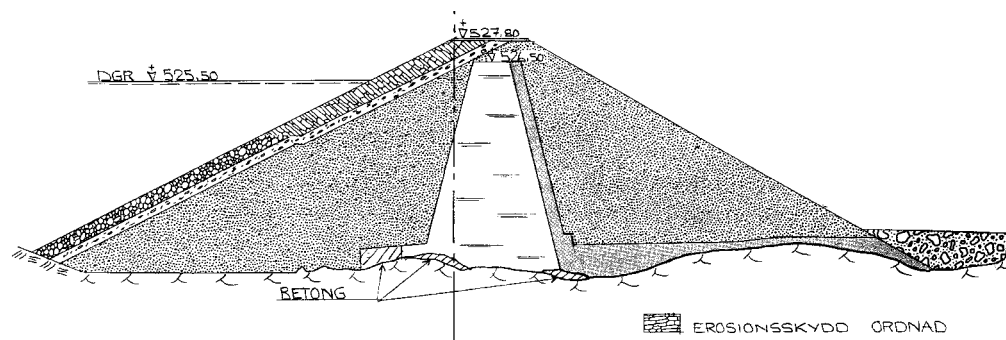
Läckaget har varit onormalt stort sedan dammen togs i drift. Ingen speciell läckageförändring finns registrerad för den tidpunkt då sjunkgropen uppträdde.

Incidenterna beskrivs i följande referens:

- *Lennart Bernell: "Grundläggning, fyllningsarbeten och skador hos jorddammar", Vattenfall.*



## Bilaga 24 Smedjemorasjön



Färdig år	1990	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	17,0 m	$D_{\max} = 20 \text{ mm}$	$d_{\max} = 64 \text{ mm}$
Krönlängd	1068 m	$D_{15} = 1,2 \text{ mm}$	$d_{15} = \text{saknas}$
		$D_{50} = 3,1 \text{ mm}$	$d_{50} = 1,9 \text{ mm}$
$D_{50}/d_{50} = 1,6$	$D_{15}/d_{15} = \text{saknas}$	$D_{85} = 10 \text{ mm}$	$d_{85} = 42 \text{ mm}$
			Finjordshalt = 43 %

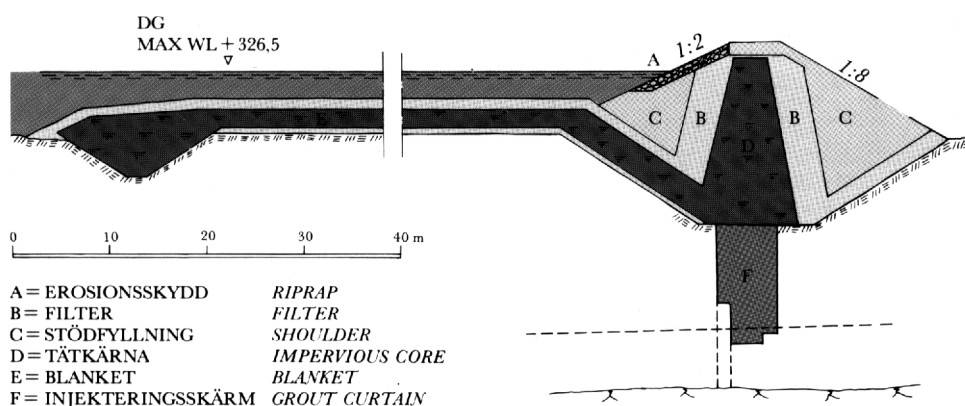
Anläggningen är belägen i Blädjan, ett biflöde till Ljusnan. Den består av fem jorddammar med en total längd av 1 060 m. Till detta kommer ett 8 m brett betongutskov. Högsta höjd är 17 m och krönbredden är 3,5 - 4,0 m. Jorddammarna är grundlagda på berg och naturlig morän. Tätkärnan byggdes upp med torrpackningsmetoden.

1992 uppträdde en sjunkgrop med diametern ca 0,3 m och djupet ca 0,3 m, i dammens högra hörn vid ett nedstigningsschakt nära en betongkonstruktion. Inget läckage noterades vid sjunkgropens uppträdande. Inga specifika undersökningar av skadan utfördes och inga slutsatser drogs.

Ingen läckagemätning sker dock och det är pga dammens utformning svårt att notera ett eventuellt läckage.

Gropen återfylldes och har ej återkommit.

## Bilaga 25 Stenkullafors



Färdig år	1983	Nedströmsfilter	Tätkärna
Höjd		$D_{\max} = 200 \text{ mm}$	$d_{\max} = \text{saknas}$
Höger damm	18,2 m	$D_{15} = 1,4 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,05 \text{ mm}$
Vänster damm	28,0 m	$D_{50} = 20 \text{ mm}$	$d_{50} = 1 \text{ mm}$
Krönlängd		$D_{85} = 100 \text{ mm}$	$d_{85} = 2 \text{ mm}$
Höger damm	109 m		
Vänster damm	435 m	$D_{50}/d_{50} = 20$	$D_{15}/d_{15} = 28$
			Finjordshalt = 41 %

Anläggningen är belägen i Åseleälven, ett biflöde till Ångermanälven och utgörs av två fyllningsdammar, som delas av intagen och utskovens betongkonstruktion. Dammarna, som färdigställdes 1983, är grundlagda på berg och naturlig jord. Jordlagren är permeabla och har en mäktighet varierande mellan 10 och 45 m.

En sjungrop uppträdde 1987 i vänstra dammen, som är en maximalt ca 28 m hög jordfyllningsdamm med krönbredden 5 m och krönlängden 435 m. Dammen är försedd med en relativt tunn, central tätkärna av morän med filter av stenig, grusig sand. Vid anslutningen till betongkonstruktionerna finns en stålspons, som sticker in ett 10-tal meter i tätkärnan. Tätkärnan byggdes upp med torrpackningsmetoden.

Undersökningar visade att dammens tätkärna var mjuk och inre erosion hade inträffat där dammen ansluter till en betongkonstruktion på dammens vänstra sida. Sjungropens area var ca  $2 \text{ m}^2$  och med ett djup av ca 0,2 m. Gropen återfylldes i samband med att vägen över dammen reparerades samma år.

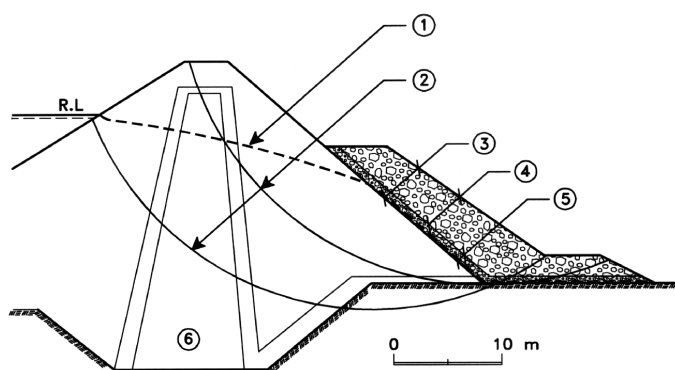
Under undersökningarna noterades en mindre sjungrop även på högra dammen. Läckage hade tidigare noterats vid denna damm. Läckage hade dessutom tidvis observerats ur en konstruktionsfog i stödskonstruktionerna i nedströmsdelen av anläggningen.

Undersökningarna visade att sjungroparna troligen var orsakade av materialtransport åt uppströmshållet genom att erosionsskyddet saknade underliggande

övergångslager mot moränen i tät kärnan. Dammens kärna konstaterades dock vara mycket lös invid betongkonstruktionerna och att det hydrostatiska trycket i dammen bitvis var högre än vad som normalt kan förväntas. Tät kärnan noterades dock vara fastare längre från betongkonstruktionerna. Spår fanns av tidigare inre erosion och förlust av finmaterial. Lösa partier av 0,2 - 1,0 m tjocklek, med förhöjd fukthalt, fanns på olika nivåer i dammens tät kärna.

I de lösa partierna noterades även spår av inre erosion genom att upptagna prover hade brist på finmaterial. Förlusten av finmaterial bedömdes bero på otillräckligt filter mellan materialet i stödfyllningen och dammens tät kärna. En stödfyllning lades ut på dammens nedströmssida för att säkerställa stabiliteten, även om förnyad erosion och stort läckage skulle inträffa i framtiden. Förstärkningen ansågs härigenom ge tid att i ett sådant fall vidta åtgärder, t.ex. i form av en injektering. För att ge förvarning om förnyade läckage byggdes ett mätöverfall för läckagemätning, som försågs med kontinuerlig registrering.

Följande figur visar en sektion av banken som lades ut mot nedströmsslätten.



- |   |  |   |                    |
|---|--|---|--------------------|
| 1 | Antagen trycknivå vid kraftigt läckage | 4 | Stenfyllning       |
| 2 | Glidytor i stabilitetsberäkningarna    | 5 | Filter             |
| 3 | Tryckbank                              | 6 | Tät kärna av morän |

Inga förändringar noterades i läckageflödet vid tiden för undersökningarna. Läckaget har varit avtagande sedan dammen uppfördes.

Iakttagelser och undersökningar i samband med observerade sjunkgropar finns beskrivna i följande referenser:

- "Ageing of dams and appurtenant works. Review and recommendations", bulletin 93, Committee on Dam Ageing, France, 237 p, ICOLD, 1994.
- Nilsson Å and Norstedt U: "Evaluation of the ageing process in two Swedish dams", ICOLD, vol 2, Q 65, pp 23 - 47, Vienna, June 1991.
- Norstedt U, Eriksson H and Nilsson Å: "Research and development programs in Sweden", ICOLD, Chambéry, 1993.

- *Widing D: "Blanket, soil grouting and drainage system for protection of an earthfill dam", Q 58 R 53, pp 885 - 910, Committee on Large Dams , ICOLD, Lausanne, 1985.*
- *Widing D: "Left earthfilling dam soil grouting", VII ECSMFE, Session 2, Helsinki, 1983.*
- *Norstedt U. and Nilsson Å, Internal Erosion and Ageing in some Swedish Earth and Rock-fill Dams, Q 7, R 20, Florence Congress 1997.*

**Bilaga 26 Suorva Östra**

Färdig år	1972	<u>Finfilter</u>	<u>Tätkärna</u>
Höjd	50 m	$D_{\max} = 16$ mm	$d_{\max} =$ saknas
Krönlängd	770 m	$D_{15} = 1,15$ mm	$d_{15} =$ saknas
		$D_{50} = 3,2$ mm	$d_{50} =$ saknas
	$D_{85}$	$=$ saknas	$d_{85} =$ saknas
		<u>Grovfilter</u>	Finjordshalt = 52 %
		$D_{\max} = 200$ mm	
		$D_{15} = 2,4$ mm	

Anläggning i Suorva är belägen i Lule Älv och består av tre fyllningsdammar. Östra dammen färdigställdes 1972. Tätkärna och filter är grundlagda på berg. Dammens högsta höjd över berg är 50 m, krönbredd 6 m, krönlängd 770 m. Tätkärnan är central, vertikal och utfördes med torrpäckningsmetoden. I dammens nedre del finns både ett finfilter och ett grovfilter nedströms tätkärnan. I dammens övre del (i området ovanför nivån + 444 m) finns endast det grövre filtret, jämför figuren nedan. Detta grövre filter konstaterades i samband med provschaktningar som grövst ha  $D_{15}$  ca 2,4 mm och  $D_{\max}$  ca 200 mm. Filtren är för grova för att möta dagens krav, speciellt där tätkärnan endast skyddas av ett grovfilter.

I oktober 1983 noterades att grumligt vatten trängde fram nedströms dammen mellan sektion 0/600 och 0/700. Läckagevolymen från det ena av dessa uppmättes till 65 l/s i ett fast mätöverfall. Volymen uppskattades vara den samma från det andra läckaget. Ett provisoriskt mätöverfall anordnades för att mäta detta. Följande dag upptäcktes ett ca 30 m<sup>3</sup> stor sjungrop i dammens krön i sektion 0/740.

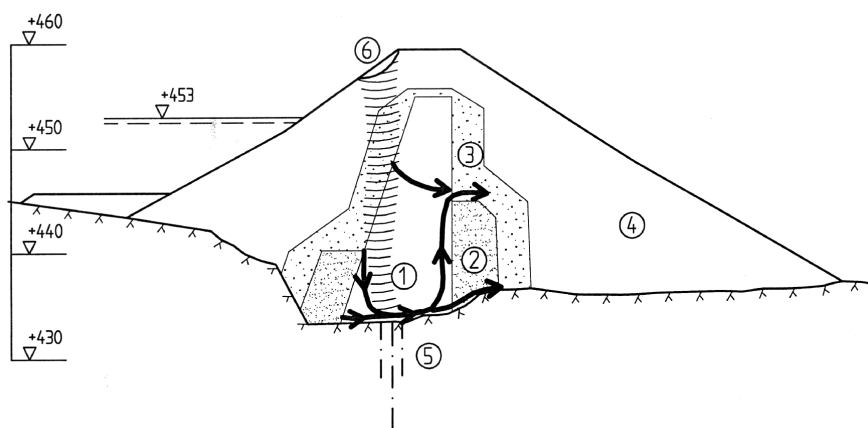
Läckageflödet, som uppmättes till ca 100 l/s, höll sig konstant till volym. Läckagevattnet var fortfarande grumligt, vilket tydde på att inre erosion pågick i tätkärnan. Grumligt framträngande vatten noterades även från två källsprång i dammens djupdel, där tidigare ett stabilt, klart flöde funnits. Vid denna tid hade magasinsnivån varit vid dämningensgränsen under ett par veckors tid. Magasinet sänktes av för att bättre kunna genomföra undersökningar. Samtidigt som detta genomfördes minskade läckaget med 75 %, dvs till ca 25 l/s, vilket tydde på att skadan i tätkärnan delvis självläkte. Tätkärnan schaktades av 1,5 m i området och sjungropen fylldes med moränmaterial.

Läckageområdet lokaliserades med spårämnesförsök. Inläckningsområdet var koncentrerad till sektion 0/740 - 0/741 mellan nivåerna + 449,0 till + 449,5 m, dvs 4,0 till 4,5 m under dämningensgränsen. Vid provborrning visade sig tätkärnan vara skadad till stora djup. Grus och urspolad morän påträffades i vissa rör ända ner till berggrunden. Ett undersökningsrör i nedströmsfiltret visade att moränmaterial trängt ut i filtret och trycknivån låg nu endast två meter under uppströmsvatten-nivån.

Dammen tätades med injektering av cement-bentonitbruk. Åtgången av bruk var ca 40 ton. När kärnans undre del injekterades minskade läckaget med ca 40%. Vid avslutad injektering hade läckaget minskat med 90 %. Under injekteringen sjönk även trycknivån i nedströmsfiltret.

Provborrning utfördes i berggrunden. Resultaten visade att tätheten hos berget inte uppfyllde dagen krav, trots de provborrningar som utförts under byggnadstiden. Ytterligare provborrningar i tåtkärnan visade att finmaterial spolats ut utanför det injekterade området. Tåtkärnan konstaterades vara skadad på en bredd av 2 - 4 m i sektion 0/740. Uppströmsfiltret konstaterades ha fyllt sin funktion genom att spolats in i tåtkärnan och minskat läckaget. Nedströmsfiltret hade dock ej hindrat material att lämna tåtkärnan.

Det bedömdes troligt att läckaget uppstått på grund av de bristande filtren. Följande figur visar den sektion av dammen där sjungropen uppträdde med antagna läckagevägar.



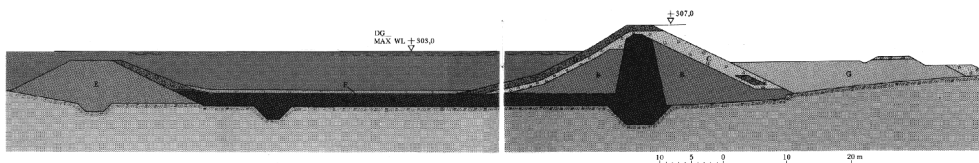
1	Tåtkärna av morän	4	Stenfyllning
2	Finfilter	5	Injekteringsridå i berggrunden
3	Grovfilter	6	Sjungrop

Förnyade sjungropar uppträdde 1993. Ingen läckageförändring noterades vid tidpunkten för att dessa uppträdde. I samma område förekom dock en tillfällig läckageökning två år tidigare. Läckagepunkterna lokaliserades med geo-, och borrhålsradar, samt temperatur-, resistivitets-, och självpotentialsmätningar. Dessa verifierade att det fanns mjuka och blöta partier i grundläggningsnivån, samt 15 till 20 m under krönet. Mätningar påvisade läckage i fyra till fem områden, huvudsakligen i grundläggningsnivån. Händelserna finns beskrivna i följande referenser:

- Andersson P M: "Borehole Radar as a Tool for Detection of Dam Ageing", Q 65, R 14, ICOLD, Vienna 1991.
- Bronner N, Fagerström H and Stille H: "Bedrock Cracks as a Possible Cause of Leakage in Two Swedish Dams", Q 61, R 55, ICOLD, San Francisco, 1988.

- *Sjöberg K-A, Norstedt U: "Läckaget i Suorvadammen hösten 1993", Väg- och Vattenbyggaren No 4/1984, pp 46 - 48.*
- *Triumf C-A, Thunehed H: "Two years of self-potential measurements on a large dam in northern Sweden", Repair and Ugrading of Dams, Symposium in Stockholm, pp 307 - 315, June 5 - 7, 1966.*
- *Norstedt U. and Nilsson Å, Internal Erosion and Ageing in some Swedish Earth and Rock-fill Dams, Q 7, R 20, Florence Congress 1997.*

## Bilaga 27 Åsele



Färdig år	1981	<u>Nedströmsfilter</u>	<u>Tätjärna</u>
Höjd	15 m	$D_{max}$ = saknas	$d_{max}$ = 16 mm
Krönlängd	1600 m	$D_{15}$ = saknas	$d_{15}$ = saknas
		$D_{50}$ = saknas	$d_{50}$ = 0,3 mm
		$D_{85}$ = saknas	$d_{85}$ = 3,5 mm
			Finjordshalt = 35 %

Anläggningen som färdigställdes 1981 är belägen i Ångermanälven. Den består av ett antal jordfyllnings-, och betongdammar. Den skadade fyllningsdammens höjd är 15 m, krönbredd 4 m och krönlängd 1600 m. Fyllningsdammen är grundlagd på moränlager i hela sin längd. Dammen utfördes med en central vertikal tätjärna av morän. Tätjärnan torrpackades.

En tid efter anläggningens färdigställande noterades en blåtonad grumling i viken nedströms dammvägen till Mattisforsen (sektion 1/500 - 1/540).

Vänster jorrdamm som utgör tillloppskanalens vänstra sida, anslöts mot naturlig mark från sektion 1/535 med en komplettering i form av en uppström panur. Slänten avschaktades för att ge utrymme för återfyllning med moränmassor i form av en blanket på kanalsidan fram till sektion 1/550.

Moränfyllningens släntfot förankrades genom att ett dike schaktades i kanalens bottenivå och återfylldes med moränmassor. Grumlingen bedömdes vid detta tillfälle bero dels bero på nederbörd, dels av att vågor eroderat schaktmassor från kanalen, som tippats mot sjöstranden och utgör slänt mot vattnet.

Fyllningsmassorna, som tippades på vänster sida om kanalen, utgjordes huvudsakligen av massor från intags-, och utskovskanalen och bestod av blå, siltig moränlera med enstaka större block. Schaktningen utfördes till stor del under vintertid, varför det ej kunde uteslutas att tjälmat materialkan ha funnits i tippens djupaste delar. Kanalslänten är i uppströmsdelen försedd med en tätande skärm, men i övrigt endast med erosionsskydd. Vid uppförandet av dammen användes stora block i de nedersta lagren.



1988 noterades en sjunkgrop i höger damm i anslutningen till intagets betongkonstruktioner. Sjunkgropen hade dimensionerna  $3 \times 1$  m och djupet 0,1 m. Gropen uppstod mellan uppströmssidan av sponten och intilliggande betongskärm.

Orsaken till skadan bedömdes vara packningssvårigheter på grund av det trånga utrymmet. Borttransport av material kan dock inte uteslutas, eftersom vatten från vägbanan kan ha dränerats intill betongskärmen. Inga grundvattennivåförändringar noterades i samband med att sjunkgropen uppkom.

Sprickor har även kontinuerligt noterats i dammkrönet på de bägge dammdelarna.

1992 noterades sättninggropar i dammtån till vänster dammdel. Dessa gropar bedömdes bero på att finmaterial spolats ner bland större, underliggande block. I anslutningen till betongkonstruktionerna, i området för skadorna i dammtån, har en ökande grundvattennivå noterats. En möjlig orsak till detta bedömdes vara avlagring av finmaterial i grundläggningen i nedströmsdelen.

I juli och oktober 1995 noterades en grumling i gamla älvfåran i vänster jorddamms anslutning till naturlig mark i sektion ca 1/500 - 1/540, samt i närliggande markområden. Viken, där grumlingarna noterades, är belägen ca 150 m nedströms dammtån. Grumlingarna pågick under någon veckas tid. Ingen kraftig vattenströmning kunde dock noteras. En ca 1 m djup sjunkgrop kunde noteras i området mellan vägen och viken. Detta var en sättning som återkommit i ett tidigare igenfyllt hål.

Grumlingen bedömdes ha orsakats av erosion på grund av ett intermittent läckage från tilloppskanalen, som ligger 6 m högre än vikens vattenyta. Trolig läckväg bedömdes vara i linje med de sjunkgropar som finns på två ställen.

Övervakningen utökades tills grumlingen i området avtagit. Grundvattenstånd och temperatur mäts i rör i området. Sjunkgropar och sättningar har uppkommit vid flera tillfällen, varför tre nya grundvattenståndsror slogs ner 1995, för att utöka - möjligheterna till övervakning. Skadorna är belägna nedströms valltån, där en tryckbank finns utlagd. Undersökningar med georadar visade på ett koncentrerat läckage på 8,5 m djup. Det bedömdes även att ytterligare läckagevägar kunde finnas i den naturliga jorden under den grova fyllning som finns längs dammtån.

Vidare fanns på ca 250 m avstånd från denna plats en antydning till ett annat koncentrerat läckage i lågpunkten. Läckaget har troligtvis följt dammtån under fyllningen. Provboringar utfördes och i dessa återfanns bergytan på nivå +292 m. Bergytan befanns vara mycket uppsprucken och troligtvis otät. Vattenprov togs vilket under oktober 1995 visade på en avtagande mängd suspension. Som mest var mängden 10 gånger så stor som normalt i Luleälven. Grundvattenstånds-, och temperaturmätningarna i området antydde att läckaget avstannat.

År 1996 noterades dock 5 - 6 nya sjunkgropar av varierande storlek i området med tidigare noterade och igenfyllda sjunkgropar. Inga läckagemätningar sker vid anläggningen.





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