



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R148:1979

Fångdamm med cirkulära spontceller

**Studier av utförande
och funktion**

**Lennart Näsman
Bengt O. Pramborg
Håkan Stille m.fl.**

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLEN
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R148:1979

FANGDAMM MED CIRKULÄRA SPONTCELLER
Studier av utförande och funktion

Stig Bernander
Ulf Jarfelt
Lennart Näsman
Lars Persson
Bengt O Pramborg
Håkan Stille
Svante Akesson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780990-9
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Jacobson &
Widmark, Lidingö och Skånska Cementgjuteriet, Göteborg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R148:1979

ISBN 91-540-3150-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 959791

INNEHÅLL

| | |
|---|----|
| FÖRORD | 5 |
| BETECKNINGAR | 6 |
| SAMMANFATTNING | 7 |
| 1 INLEDNING | 13 |
| 1.1 Bakgrund | 13 |
| 1.1.1 Val av fångdamstyp | 13 |
| 1.1.2 Vad är en spontcellkonstruktion | 13 |
| 1.1.3 Konstruktiva synpunkter | 14 |
| 1.2 Projektets syfte | 15 |
| 2 PROJEKTERING | 17 |
| 2.1 Allmänna förutsättningar | 17 |
| 2.2 Vattenstånd | 18 |
| 2.3 Strömningsförhållanden | 18 |
| 2.4 Geotekniska förhållanden | 18 |
| 2.4.1 Grundundersökningar | 19 |
| 3 ENTREPRENADARBETEN | 21 |
| 3.1 Maskiner och utrustningar | 21 |
| 3.2 Muddring före spontslagning | 22 |
| 3.3 Huvudcell | 22 |
| 3.3.1 Spontmall | 22 |
| 3.3.2 Utsättning av mall | 24 |
| 3.3.3 Sponthantering | 26 |
| 3.3.4 Spontsättning | 26 |
| 3.3.5 Spontslagning | 31 |
| 3.3.6 Montage av pumprör | 32 |
| 3.3.7 Fyllningsarbeten | 33 |
| 3.3.8 Kompletteringar | 34 |
| 3.3.9 Tidsåtgång | 35 |
| 3.4 Mellancell | 36 |
| 3.4.1 Mall | 36 |
| 3.4.2 Spontning | 36 |
| 3.4.3 Fyllningsarbeten | 38 |
| 3.4.4 Kompletteringar | 39 |
| 3.4.5 Tidsåtgång | 39 |
| 3.5 Dammanslutningar | 39 |
| 3.5.1 Anslutning mot strand | 39 |
| 3.5.2 Anslutning mot kraftstation | 41 |
| 3.6 Injektering | 41 |
| 3.6.1 Skärminjektering | 42 |
| 3.6.2 Jordinjektering | 42 |
| 3.7 Erosionsskydd vid cell 8 | 44 |
| 4 KONTROLL | 47 |
| 4.1 Spont | 47 |
| 4.2 Bottenmaterial | 47 |
| 4.3 Fyllningsmaterial | 47 |
| 4.4 Inläckning | 49 |
| 4.5 Vattenförlust | 50 |

| | | |
|------------|--|----|
| 5 | DJUPPACKNINGSFÖRSÖK | 51 |
| 5.1 | Arbetsordning | 51 |
| 5.2 | Kapacitet | 52 |
| 5.3 | Resultat | 52 |
| 6 | RÖRELSER VID AVSÄNKNINGEN | 53 |
| 6.1 | Spontceller | 53 |
| 6.1.1 | Geodetisk inmätning | 53 |
| 6.1.2 | Inklinometermätning | 53 |
| 6.2 | Jorddamm (strandanslutning) | 54 |
| 6.3 | Slänt (mot utloppskanal) | 54 |
| 6.4 | Vattennivåändring i cellerna | 54 |
| 7 | DEFORMATIONER OCH SPÄNNINGAR BERÄKNADE MED F E M . | 61 |
| 7.1 | Idealisering av problemet | 61 |
| 7.2 | Elementindelning | 62 |
| 7.3 | Egenskaper hos balkelementen | 63 |
| 7.4 | Egenskaper hos fyllningsmaterialet | 64 |
| 7.5 | Egenskaper hos övergångselementen | 66 |
| 7.6 | Elementen sammankopplas | 66 |
| 7.7 | Resultat | 67 |
| 8 | SLUTSATSER | 77 |
| 8.1 | Projektering | 77 |
| 8.2 | Entreprenadarbeten | 77 |
| 8.2.1 | Muddring | 77 |
| 8.2.2 | Spontning | 77 |
| 8.2.3 | Fyllningsarbeten | 78 |
| 8.2.4 | Packning | 78 |
| 8.3 | Kontroll | 79 |
| 8.3.1 | Inläckning | 79 |
| 8.3.2 | Rörelser | 79 |
| 8.4 | Beräkning av deformationer med F E M | 79 |
| BILAGA 1 | Inklinometerrör samt mätpunkter i jorddamm och slänt | 81 |
| BILAGA 2 | Elevation av fångdamm | 83 |
| BILAGA 3 | Geoteknisk undersökning. Plan över borrhål vid hejarsondering | 85 |
| BILAGA 4 | Beräknat och verkligt neddrivningsdjup av spont i cell 4 | 87 |
| BILAGA 5 | Spontmall, sammanställning | 89 |
| BILAGA 6 | Spontmall, detaljer | 91 |
| BILAGA 7 | Typritning för spontcell, mått, material och instrumentering | 93 |
| BILAGA 8 | Resultat av dubbla direkta skjuvförsök | 95 |
| BILAGA 9 | Resultat av dubbla direkta skjuvförsök | 96 |
| BILAGA 10 | Kontroll av inläckning i cell 4 | 97 |
| LITTERATUR | | 99 |

FÖRORD

I föreliggande rapport redogörs för studier och uppföljning av projektering och byggande av en fångdamm i Göta älv. Fångdammen byggdes av cirkulära spontceller. Spontcellkonstruktioner är ovanliga i Sverige och den utförda anläggningen är den största som i sitt slag förekommit i vårt land.

Under projekteringstiden konstaterades att det var värdefullt att tillgå dokumentation, litteratur m m från tidigare objekt om hur spontceller byggs i praktiken och hur dessa konstruktioner uppför sig vid olika belastningar.

När Skånska Cementgjuteriet antagits som fångdammsentreprenör av Vattenfall föddes idén att göra en uppföljning av det förestående arbetet. Projektet, som till allra största delen finansierats genom anslag från BFR, startades och planerades med stort engagemang från

Karl-Artur Scherman, Vattenfall
Lennart Bernell, Vattenfall
Stig Bernander, SCG
Sven Hansbo, J&W

Projektet har till största delen genomförts vid J&W under ledning av Lennart Näsman. De teoretiska studierna av fångdammens deformationer enligt fenita delmentmetoden (F.E.M.) har utförts som examensarbete av Lars Persson och Svante Åkesson under handledning av Håkan Stille vid institutionen för jord- och bergmekanik, Kungliga tekniska högskolan.

För projektets praktiska genomförande vill jag tacka medhjälpare av alla kategorier och speciellt arbetsledningen vid Lilla Edetarbetena Kurt Hellegren, Vattenfall samt Stig Secund och Torsten Johansson, SCG, vilka välvilligt tillhandahållit underlag för faktaredovisningen.

Det är vår förhoppning att uppföljningen av Lilla Edetarbetena skall vara ett nyttigt komplement till redan befintlig litteratur om och dokumentation av spontcellkonstruktioner.

Lidingö i augusti 1979

Bengt O Pramborg

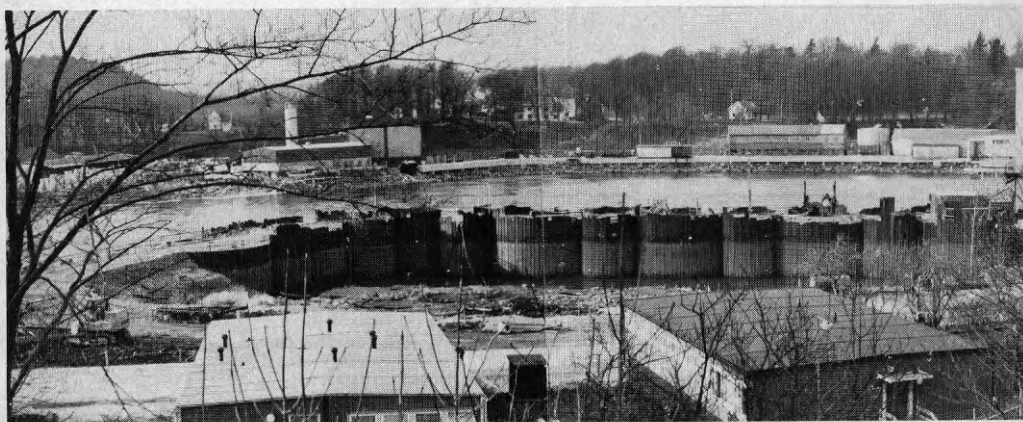
BETECKNINGAR

| | |
|------------|----------------------|
| A | area |
| E | elasticitetsmodul |
| ϵ | töjning |
| F | kraft/längdenhet |
| ϕ | friktionsvinkel |
| G | skjuvmodul |
| γ | densitet |
| h | höjd |
| K_0 | vilojordtryck |
| k_m | modultal |
| K_p | tryckmodul |
| K_{Si} | initialstyvhet |
| m | massa |
| n | spänningsexponent |
| ν | tvärkontraktionstal |
| p | tryck |
| R_f | residualskjuvstyvhet |
| r | radie |
| σ | normalspänning |
| τ | skjuvspänning |
| t | tjocklek |
| V | volym |

SAMMANFATTNING

Bakgrund

Under tiden maj 1978 till februari 1979 byggdes en temporär fångdamm i Göta älv. Fångdammen är nödvändig för att klara utbyggnaden av fjärde aggregatet i en bergtunnel vid Lilla Edets kraftstation. Dammen beställdes av Statens Vattenfallsverk och byggnadsarbetena utfördes av Skånska Cementgjuteriet i Göteborg som huvudentreprenör. Konstruktions- och förfrågningshandlingar upprättades av AB Jacobson & Widmark.



Vy över fångdammen efter läns-pumpning.

Flera olika fångdammstyper diskuterades under projekterings-gången. Med hänsyn till bland annat säkerhetsaspekter och tillgängligt utrymme i älvfåran valdes att utföra fångdammen som en jorddamm uppbyggd av cirkulära spontceller.

En spontcellkonstruktion är i princip en stödkonstruktion sammansatt av en rad med cylindrar eller celler och mellanbågar. Cellerna byggs upp av plana spontplankor med spontlås som är utformade för att uppta ringspänningarna längs omkretsen till följd av jordtrycket från fyllningen i cellen.

Spontkonstruktionen kan ha olika former t.ex. cirkulära celler med två halvcirkelformade mellanbågar (som i Lilla Edet). Alternativt kan en utformning med bågar och raka skiljeväggar (diaphragmaceller) användas.

Några data

Dammkroppen är ungefär 120 m lång och utgörs av sju cirkulära celler med 14 m diameter. Dammen anslöts i ena änden till älv-

stranden via en jorddamm med tätspont. Den andra änden anslöts till den befintliga kraftstationen med en konstruktion utformad för att ta upp eventuella rörelser hos den anslutande cellen. Vattendjupet i dammlinjen är maximalt ca 12 m. Cellernas höjd är i medeltal ungefär 10 m. Totalt beräknades åtgå ca 650 ton stålspont med 500 mm bredd och 9,5 mm tjocklek. Som fyllning i cellerna erfordrades ungefär 15.000 m³ sand.

Syfte

Spontcellkonstruktioner är ovanliga i Sverige. Det genomförda projektet är det största i sitt slag som förekommit i vårt land. Liknande cellkonstruktioner av planspont har även använts för annat ändamål i Tuve, Göteborg.

Syftet med projektet har varit att studera utförandet och dokumentera erfarenheterna från dammkonstruktionen i Lilla Edet. Denna studie är förhoppningsvis av värde för framtida projektering och byggande av spontcellkonstruktioner. Sådana konstruktioner kan förutom i dammar även användas i permanenta konstruktioner som hamnar, slussar, torrdockor, pirar och vågbrytare. I Norge har spontceller använts flitigt i kajkonstruktioner under de senaste åren.

Projektet har i huvudsak bedrivits i form av studier och försök enligt nedan:

- Arbetsplatsstudie av entreprenadarbetena för att dokumentera tillämpad arbetsmetodik vid utförande av spontslagning, jordfyllnings- och injekteringsarbeten.
- Studier av funktionen hos färdig konstruktion med avseende på bland annat rörelser, deformationer, läckage och erosionsproblem varvid tyngdpunkten lagts på kontroll av cellernas rörelser i samband med att cellerna utsätts för ensidigt vattentryck vid länspumpning av fångdammen.
- Packningsförsök i en cell för att undersöka om djuppackning av fyllningen i cellen minskar eventuella rörelser vid länspumpningen.
- Deformations- och spänningsberäkning med hjälp av dator enligt finita elementmetoden (FEM-analys), för att få en teoretisk jämförelse med uppmätta rörelser.

Arbetsmetodik

Utförandet av spontningsarbetena kräver förutom en flytande mall en kranutrustning med tillräcklig lyfthöjd och lyftkapacitet för att sätta spontplankorna på plats. Arbetsgången för att bygga en cell är i princip en arbetscykel med följande moment:

1. Utsättning av mallen som förankras med stödben i botten. Mallen skall ha 2 å 3 styrningar (beroende på spontlängd), för styrning av spontplankorna i vertikalled.
2. Första spontplankan (startplankan) sätts på plats och fixeras.

3. Spontplankor sätts med utgång från startplankan och hela cellen sluts ihop.
4. Successiv slagning av sponten till fast botten genom att slå runt cellomkretsen efter ett visst schema.
5. Inspektion av spontlås och bottenmaterial med dykare före fyllning av cellen med sand, grus eller sten.
6. Fyllning av cell, kapning av spontplankor och flyttning av mallen till nästa cell varefter arbetscykeln 1 - 5 upprepas.
7. Slagning av spont i mellanceller när två omgivande huvudceller är färdigfyllda. Mellancellerna ansluts till huvudcell med en speciell anslutningsplanka.
8. Inspektion av spontlås och bottenmaterial före fyllning av mellancell.

Beroende på användningsområde för spontcellkonstruktionen sker därefter kompletterande arbeten med utrustning av celler, anslutningar till andra konstruktioner, transportvägar m.m.

Kontroll

Vid fångdammsbygget bestod kontrollen i att man bland annat kontrollerade spont, bottenmaterial, fyllningsmaterial, inläckning i celler, vattenförlust i berggrunden och cellernas rörelser vid avsänkningen.

Sponten kontrollerades förutom vid tillverkningen i valsverket i Luxemburg även efter transporten till Sverige. Den senare kontrollen omfattade ultraljudskontroll av speciellt anslutningsplankor. Spontplankornas låsvidd kontrollerades med en tolk. Slutligen kontrollerades med hjälp av dykare att låsen ej deformationerats efter spontslagningen.

Bottenmaterialet i cellerna togs upp av dykare efter spontslagningen och kontrollerades av geotekniker som avgjorde om det var riskfyllt att låta bottenmaterialet ligga kvar i cellerna.

Fyllningsmaterialet kontrollerades innan fyllningsarbetena påbörjades. Friktionsvinkeln bestämdes ur dränerade skjuvförsök (i skjuvbox), vidare bestämdes kornfördelning och skrymdensitet.

Inläckningen i cellerna kontrollerades allteftersom de färdigställdes, varvid vattennivån i cellen avsänktes genom pumpning i pumphöjningar. Genom samtidig observation i vattenståndsrör (porttrycksmätare) kunde eventuell inläckning lokaliseras och åtgärder vidtas för tätning, t.ex. injektering.

Vattenförlust. Inläckningen genom underliggande berg kontrollerades genom vattenförlustmätningar, vilka gav som resultat att tätningsinjektering utfördes i två omgångar innan tätheten i berget kunde anses tillfredsställande.

Rörelserna av cellerna kontrollerades i samband med länspumpningen i fångdammen. Cellerna utsattes då för ensidigt vattentryck från älvsidan. Kontrollen gjordes dels genom inmätning av cellernas överkant med teodolit dels genom kontroll av rörelserna i vissa celler genom mätning i inklinometerorr.

Inmätningarna med teodolit gav som resultat maximalt ca 10 mm sidorörelse, medan inklinometermätningarna visar att de maximala sidorörelserna vid cellernas överkant uppgick till 15 å 20 mm

Med anknytning till kontrollen av cellernas verkliga rörelser gjordes en teoretisk beräkning av cellspontkonstruktionens rörelser med dator enligt finita element-metoden (FEM-analys). FEM-analysen utförs i fyra steg. Först görs en idealisering av problemet därefter en elementindelning av konstruktionen. Sedan analyseras varje element i en elementanalys varefter samtliga element sammankopplas genom villkor vid elementränderna till ett system i en systemanalys.

Den använda beräkningsmodellen gav som resultat en teoretisk deformationsbild som påminner om den verkliga. De beräknade deformationerna blev mindre än de uppmätta, ca 6 mm istället för ca 10 mm.

Resultat och slutsatser

För genomförande av projekteringen av en fångdammskonstruktion byggd av flatspont kan man sammanfattningsvis konstatera att det är nödvändigt att göra förundersökningar i form av

- Geotekniska undersökningar i dammläget för bestämning av undergrundens egenskaper beträffande bärighet, sättningar, schaktbarhet m m.
- Detaljerade sonderingar i slutligt fastställt spontläge för bedömning av spontlängder
- Hydrologiska mätningar för att ge kännedom om karakteristiska vattenstånd och maximala vattenhastigheter.
- Undersökning av strömningsförhållanden genom modellförsök kan vara värdefulla för att klargöra hur bland annat vattenhastigheten och strömningsförhållanden förändras vid olika utbyggnadsetapper.

De väsentligaste slutsatserna som kan dras av studierna på byggarbetsplatsen sammanfattas nedan.

Man kunde i efterhand konstatera uppenbara fördelar med att muddra bort lösa jordlager före spontningen med hänsyn till svårigheterna att schakta i cellerna efter spontningen.

Spontarbetena utfördes med hjälp av en flytande mall. Mallens diameter måste vara ca 0,2 m mindre än den teoretiska spontdiametern. De aktuella spontplankorna, med maxlängd 14-15 m, kunde lyftas i en fästpunkt, vilket enligt amerikanska erfarenheter går bra upp till 21 m spontlängd.

Spontsättning utfördes i två riktningar från en startplanka som noggrant fixerats vertikalt vid mallen. I strömmande vatten är det en fördel om sponten trycks mot mallen i stället för att driva ifrån. I Lilla Edet kunde spontsättningen utföras vid en maximal vattenhastighet av 1,4 m/s utan att olägenheter uppstod.

Enligt tillverkaren skall 500 mm-spont kunna användas ner till 2100 mm radie. Vid spontsättning i mellancellerna uppstod vissa svårigheter trots att radien var 3350 mm. Denna radie ger en vinkeländring av $8,5^\circ$ i låsen för 500 mm-spont, men möjlig vinkeländring i låsen varierade så mycket att vissa plankor ej klarade vinkeländringen $8,5^\circ$. Det skulle vara en fördel att använda 400 mm-spont vid små radier för att få fler låspunkter att ta upp vinkeländringen i.

Kontroll av inläckning i cellerna tyder på att läckage i spontlåsen i det närmaste är obefintliga.

Beträffande kapaciteten vid fyllningsarbetena kan man se skillnaden vid fyllning av första cellen och de övriga beroende på att olika metoder använts. Första cellen fylldes med grus som transporterades med lastbil från grustag. Gruset tippades i en betongficka på land. Med betongbask och kran lyftes gruset över till cellen, kapaciteten blev då ca $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Vid fyllning av de övriga huvudcellerna blev kapaciteten ca $70 \text{ m}^3/\text{h}$. Gruset tippades då på den närmast föregående cellen varifrån en grävmaskin lyfte upp materialet på ett transportband till cellen.

En beräkning av fyllningens densitet i mellanceller respektive huvudceller visar att densiteten är ca 2 % lägre i mellancellerna. Skillnaden kan bero på att en viss luftmängd blir kvar i materialet vid tippning direkt från lastbil till cellen, medan man får en homogenerare fyllning när materialet sprids ut med bandtransportör.

Vid packningsförsöket kunde konstateras att fyllningen sjönk 20-30 cm dvs. 2-3 % av fyllningshöjden. Trots denna packning kan man inte se någon skillnad mellan cellernas uppmätta rörelser vid avsänkningen i en packad och icke packad cell. Således synes tillräcklig lagringstäthet erhållas vid utfyllnad i vatten för att deformationerna skall hållas på en acceptabel nivå. Beträffande kapacitet visar vibreringen i cell 5 att man vid djupvibrering till ca 11 m djup kan räkna med en kapacitet av 4-6 nedvibreringar per timme.



1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Under tiden maj 1978 till februari 1979 byggdes en temporär fångdamm i Göta älv. Fångdammen är nödvändig för att klara utbyggnaden av aggregat 4 i en bergtunnel vid Lilla Edets kraftstation. Dammen beställdes av Statens Vattenfallsverk (Vattenfall) och byggnadsarbetena utfördes av Skånska Cementgjuteriet (SCG) i Göteborg som huvudentreprenör. Konstruktions- och förfrågningshandlingar upprättades av AB Jacobson & Widmark (J&W).

1.1.1 Val av fångdammstyp

I det aktuella dammläget är vattendjupet i älven maximalt ca 12 m efter bortmuddring av lösa bottensediment.

För fångdammen diskuterades flera alternativ under projekteringsgången. Jorddamm av konventionell typ ansågs ej vara en möjlig lösning med hänsyn till bl.a. tillgängligt utrymme i älvfåran vid kraftstationen. Dragstagsförankrad enkelspont ansågs olämplig från säkerhetssynpunkt.

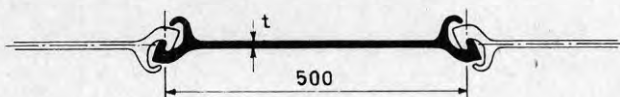
Bäst syntes vara att välja ett av alternativen

- jorddamm inom två parallella sponter
- jorddamm uppbyggd av cirkulära spontceller

Av dessa två alternativ bedömdes det sistnämnda vara fördelaktigast från både arbets- och säkerhetssynpunkt. Eftersom det ställvis finns endast ett tunt jordskikt ovan berget kunde man ej räkna med något mothåll från jordtrycket i spontens underdel. Detta försvårade användningen av parallella sponter. De enskilda cirkulära cellerna däremot har fördelen att de är stabila i sig själva när de är fyllda med jord, vilket även ger en stabil arbetsplattform nära arbetsplatsen allteftersom arbetet med dammkroppen fortskrider. Vidare undviks nästan allt undervattensarbete som skulle erfordras vid stagsättning för två parallella sponter.

1.1.2 Vad är en spontcellkonstruktion

I princip är det en stödskonstruktion sammansatt av en rad med cylindrar eller celler och mellanbågar. Cellerna byggs upp av planspont med spontlås, se figur 1.1, som är utformade för att uppta ringspänningarna längs omkretsen till följd av jordtrycket från fyllningen i cellen, utan någon form av stag eller avstyvningar.



Figur 1.1 Spontplankans profil

Spontkonstruktionerna kan ha flera former t.ex. cirkulära huvudceller med två halvcirkelformade mellanbågar. Alternativt kan en utformning med bågar och raka skiljeväggar (diafragmaceller) användas.

Spontåtgången per längdmeter i dammlinjen är nära nog oberoende av celldiameter och cellform. En påtaglig fördel med cirkulära celler är att de är lättare att bygga eftersom varje enskild cell är en stabil enhet.

1.1.3 Konstruktiva synpunkter

Dimensioneringen av spontcellkonstruktioner följer i stort sett vanliga geotekniska beräkningsmetoder för stödkonstruktioner där vatten- och jordtryck upptas av konstruktionens vikt och friktion mot underlaget. Beräkningarna är emellertid delvis av empirisk karaktär till följd av konstruktionens speciella form.

I princip omfattar dimensioneringen undersökning av

- säkerheten mot glidning
- säkerheten mot vältnings
- säkerheten mot brott i spontlås
- grundens bärighet
- sättningar i grunden

Eftersom dammen här byggdes på berg erfordrades ingen särskild kontroll av grundens bärighet och sättningar.

Vid dimensioneringen har följande säkerhetskriterier valts.

Säkerheten mot glidning skall vid beräkning vara lägst 1,5 vid normalt belastningsfall (vattennivån i cellerna på halva vattendjupet). Vid exceptionellt belastningsfall (vattennivån i cellerna samma som HHW samt strömningstryck) skall säkerheten vara lägst 1,2. Säkerheten mot glidning läggs på tangenten för jordens effektiva friktionsvinkel ($\text{tg } \phi'$).

Säkerheten mot vältnings är tillräcklig om resultanten av pådrivande och mothållande krafter faller inom dammens mellersta tredjedel.

Vid beräkning av spontlåsen skall säkerheten vid normalt belastningsfall vara $\geq 2,5$ jämfört med garanterad dragkraft i spontlåsen.

Utöver angivna villkor vad gäller beräknad säkerhet måste ytterligare säkerhetskrav uppfyllas, nämligen att risken för erosion under dammen elimineras under och efter sänkning av vattennivån.

1.2 Projektets syfte

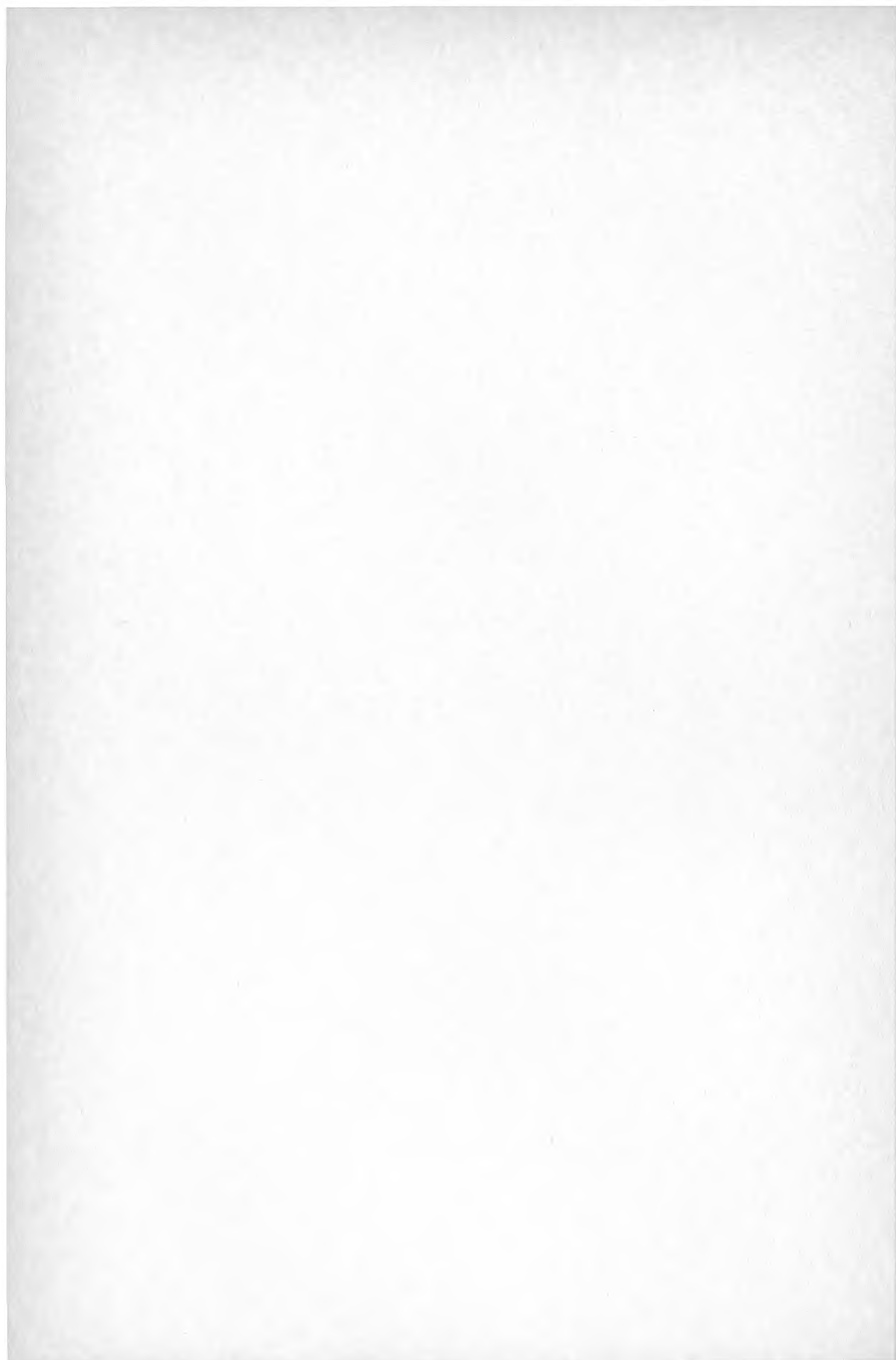
Projektet syftar till att ge en objektuppföljning av dammbyggnadsarbetet. Spontcellkonstruktioner är ovanliga i Sverige. Det genomförda objektet är det största som i sitt slag förekommit i vårt land. Liknande cellkonstruktioner av planspont har även använts för annat ändamål i Tuve, Göteborg.

Uppföljningen och dokumentationen av erfarenheterna från dammkonstruktionen i Lilla Edet är förhoppningsvis av värde för framtida projektering och byggande av spontcellkonstruktioner. Dessa konstruktioner kan förutom i dammar även användas i permanenta konstruktioner som hamnar, slussar, torrdockor, pirar och vågbrytare. I Norge har spontceller använts flitigt i kajkonstruktioner under de senaste åren.

Uppföljningen belyser främst tillämplad arbetsmetodik vid utförande av spontslagning, jordfyllnings- och injekteringsarbeten. Även funktionen hos färdig konstruktion har studerats med avseende på bland annat rörelser, deformationer, läckage och erosionsproblem, varvid tyngdpunkten lagts på uppföljning av cellernas rörelser. I anknytning till detta utfördes därför djuppackning i en cell (nr 5) för att undersöka om ökad packningsgrad hos fyllningen minskar eventuella rörelser.

För att få en teoretisk jämförelse med de uppmätta rörelserna har en beräkning av rörelser och spänningar gjorts med hjälp av finita elementmetoden (FEM-analys).

Inledningsvis behandlas under kapitlet 2 PROJEKTERING i korthet de aktuella geotekniska och hydrologiska förutsättningarna samt de förundersökningar som erfordras för projektering och byggande av en liknande konstruktion.



2 PROJEKTERING

2.1 Allmänna förutsättningar

Dammkroppen är ungefär 120 m lång och utgörs av sju cirkulära celler med 14 m diameter, se figur 2.1. Cellernas höjd är i medeltal ungefär 10 m. Totalt beräknades åtgå ca 650 ton stålspont med 500 mm bredd och 9,5 mm tjocklek. Som fyllning i cellerna erfordrades ungefär 15.000 m³ sand. I förfrågningshandlingarna var dammen ritad med åtta cirkulära celler, men cell nr 1 och mellancell 1-2 ersattes senare av en förlängd jorddamm från älvstranden, dels av ekonomiska skäl, dels på grund av praktiska problem med att flotta in mallen mot stranden (litet vattendjup vid lågt vattenstånd).



Figur 2.1 Vy över fångdammen

Dammen anslöts i den ena änden till älvstranden via en jorddamm med tätspont och den andra änden skulle anslutas till den befintliga kraftstationen. Det ställdes därför krav på att anslutningskonstruktionen mellan spontcell och kraftstation skulle utformas så att den kunde ta upp den anslutande cellens rörelser. Storleken av dessa rörelser i cellens topp kunde ej med säkerhet beräknas och insamling av erfarenheter från uppmätta rörelser vid projekt på kontinenten samt litteraturstudier gav mycket skiftande uppgifter om rörelsernas storlek, från några mm till decimeterstora värden. Detta förhållande ökade kravet på en rörlig anslutning till kraftstationen.

2.2 Vattenstånd

Karakteristiska vattenstånd vid fångdammsläget nedströms den befintliga kraftstationen är

| | |
|-----|--------|
| HHW | +2,2 m |
| HW | +1,5 m |
| MW | +0,6 m |
| LW | ±0,0 m |
| LLW | -0,5 m |

2.3 Strömningsförhållanden

Det är nödvändigt att känna till maximala vattenhastigheter vid fångdammsläget eftersom strömningstrycket skall adderas till vattentrycket. Dessutom påverkar vattenhastigheten i högsta grad spontningsarbetena. Strömningsbild och vattenhastigheter studerades i modellförsök i skala 1:50 på Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby. Vattenhastigheter i anslutning till fångdammsläget uppmättes för tre olika vattenföringar (490 m³/s, 700 m³/s och 900 m³/s). Vidare undersöktes fångdammens inverkan på vattenhastigheter och strömningsbild vid olika utbyggnadsstadier. Maximala vattenhastigheten under byggnadstiden kunde med stöd av modellförsöken bestämmas till 1,75 m/s vid vattenföringen 900 m³/s.

2.4 Geotekniska förhållanden

Större delen av strandpartiet var uppfyllt. Fyllningen, som hade en tjocklek av 0-4 m och på större delen av aktuell strandremsa täckte älvbotten närmast stranden, utgjordes företrädesvis av friktionsjord. Närmast befintlig kraftstation hade man vid tidigare undersökningar påträffat fyllningsmassor (bl.a. betongblock och tegel) i den lösa jorden. Förekomst och typ av fyllning verkade vara mycket oregelbunden.

Under fyllningsmassorna fanns lera med varierande mäktighet. Största konstaterade mäktighet var ca 5 m. Från strandpartiet fortsatte lerlagret ut i älven och utgjorde där den överst liggande jorden med genomsnittligt ca 2 m mäktighet. Ställvis fanns fördjupningar i älvbotten där lerbeförekomsten var ringa.

Leran var i sin understa del ställvis skiktad med silt och sand, successivt övergående i sand och grusig sand på morän. Mäktigheten av friktionsjorden (sand, sandigt grus och morän) varierade starkt. Det finns undersökningsresultat som visade, att lös jord av företrädesvis lera ligger nära nog direkt på berg.

Lerans skjuvhållfasthet var i stort sett 15-30 kPa. Densiteten var förhållandevis hög, 1,75 - 1,80 t/m³. Vattenkvot och flytgräns (finlekstal) var av storleken 40-50 %. Leran var mycket sensitiv, vilket innebar att den var känslig för störning. (Leran blir vätskelik vid omrörning. Nödvändigt att beakta vid t.ex. bedömning och val av schaktningsförfarande.)

Silt och sand (i växellagring med lera) i lersedimentens undre del hade medelfast lagring. Friktionsjorden därunder var fast.

Resultaten av jord-bergsonderingar visade varierande förhållanden vad avsåg bergkvalitet.

2.4.1 Grundundersökningar

Sonderingar och provtagningar i jord och berg hade tidigare gjorts av Vattenfall och dessa kompletterades med ett antal översiktliga borrhöjningar utförda av J&W. Kompletteringen gjordes som underlag för projektering av fångdammen. När cellernas läge var bestämt gjordes detaljerade hejarsonderingar av Vattenfall. Under den blivande spontväggen i varje huvudcell bestämdes fast botten i sex punkter, varav fyra där anslutningsplankorna beräknades komma, dessutom i två punkter under spanten i varje mellancell, se bilaga 3. De detaljerade borrhöjningarna var nödvändiga för att beräkna spontlängder i spantspecifikationen.

Man undersökte även den östra älvstranden där transportvägen för bergarbeten för aggregat 4 skulle gå fram. Risken för släntskred under och efter avsänkning av vattennivån innanför fångdammen analyserades. Resultatet blev att en avlastningsschakt om 900 m³ skulle utföras före avsänkning.



3 ENTREPRENADARBETEN

3.1 Maskiner och utrustningar

SCG hade följande utrustningar till förfogande:

| | |
|---|--|
| Grävmaskin (skopvolym 2,5 m ³) på en ponton | Användes vid muddring av ränna i dammläget. |
| Mobilkran 75 t | Kravet som ställdes var att kranen klarade hanteringen av den 25 t tunga spontmallen. Användes i övrigt vid spontningsarbetet i huvudcellerna. |
| Mobilkran, 30 t | Skötte spontningsarbetet i mellancel- lerna, transporterade pumprör, lyfte bandtransportör på plats vid fyll- ning av celler. |
| Grävmaskin | Lastade fyllningsmaterialet på band- transportör, grävde rörgravar m.m. |
| Kompressor | Försörjde arbetsplatsen med tryckluft. Man använde sig av en med kapaciteten 20 m ³ /h placerad på ponton. |
| Ponton Bulle IV 36 x 18 m | Plattform för 75 t-kran och kompres- sor. Användes även som provisoriskt spontupplag. |
| Transportpråm 25 x 7 m | Fraktade spont från Göteborg m.h.a. bogserbåt. Fungerade som upplag vid arbetsplatsen. |
| Vibrohejare | Användes till slagning av Larssen- spont i jorddammen vid anslutning mot strand. |
| Tryckluftshejare, 800 kg dubbelverkande | Användes till att slå ned de sex på- larna som fixerade spontmallen i rätt läge. Dessutom för slagning av plan- spont. |
| Borrutrustning | För fastdubbning av ovan nämnda på- lar i berg. |

Stabilator använde sig av följande utrustning för injekterings- arbeten:

Vid borrning hade man en larvburen borrvagn typ Tamrock med 2 st borraggregat typ L 400.

Till skärminjektering i berg användes en kolloidkvarn, typ Colcret, en omrörare och en injekteringspump typ Simplex. Dessutom kom- pressor med kapaciteten 30 m³/h.

Vid jordinjektering tillkom dessutom två st omrörare, en blan- darkropp och en pump för dosering av kemikalier.

Till djuppäckningsförsöket, se kapitel 5, använde man sig av föl- jande utrustning:

Eldriven vibrohejare TOMEN VM2-4000A vikt 4,0 ton, effekt 59 kW.

Fjärrkontroll till vibrohejare.

Vibrostav längd 9 m \varnothing 1600 mm ("julgran").

Diesलगenerator 155 kW.

Mobilkran 30 ton.

Vibrostaven, som allmänt kallas "julgranen", består av ett rör \varnothing 100 mm, längd 9,0 m. Röret är försett med tvärgående 0,8 m långa utskott på ett inbördes avstånd av 1,0 m.

3.2 Muddring före spontslagning

Först var det meningen att man skulle slå sponten igenom bottenmaterialet i älven, men efter moget övervägande av risken för grumling av vattnet i älven, kom man överens om att det skulle vara lämpligare att muddra en ränna utmed fångdammens tänkta läge. Detta utfördes med hjälp av en grävmaskin med en skopvolym på 2,5 m³ stående på en ponton. Med denna utrustning muddrade man en 16 m bred ränna vars djup varierade mellan 1 och 4,5 m. Eftersom det inte var någon högre strömningshastighet i älven blev resultatet bra. Man slapp att mammutpumpa några större mängder material från cellernas botten. Materialet som muddrades upp transporterades först 10 km med pråm för att sedan köras vidare med lastbil några kilometer. Man var tvungen att bygga vallar runt tippningsplatsen, eftersom massorna var så vattenmättade att de annars skulle ha runnit iväg. Samtidigt satte man upp stängsel för att hindra barn och djur att gå ner sig. Den sammanlagda volymen som transporterades bort var 8.000 m³ lös volym, vilket motsvarar ungefär 6.600 m³ fast volym.

3.3 Huvudcell

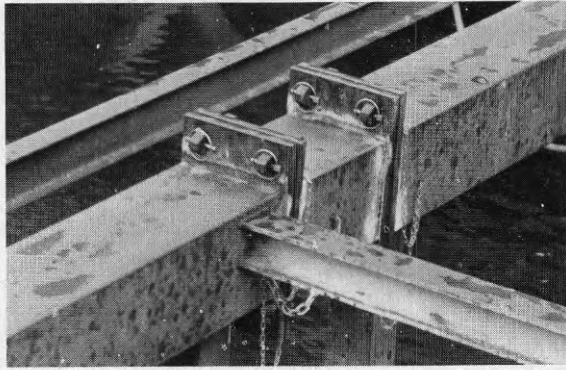
Efter etableringen och efter utfyllnad av en del av jorddammens slänt till läget för huvudcell nr 2 kunde själva arbetet börja med att bygga den första cellen (nr 2).

Till spontningsarbetet med huvudcellerna hade SCG förutom platschefen en utsättare och en arbetsledare med ett arbetslag, sammansatt av tre arbetare och en kranförare. Fyllningen av huvudcellerna skedde med hjälp av en grävmaskinist och en annan man som hade hand om utspolningen av fyllningsmaterialet. I samband med vissa arbetsmoment fanns även en dykare på plats. Utrustningen som man hade till sin hjälp finns beskriven under avsnitt 3.1.

3.3.1 Spontmall

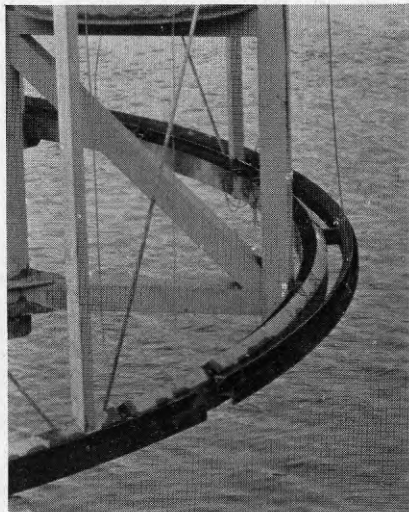
Spontmallen är till för att kunna placera spontplankorna i stort sett i lika perfekta cirklar som den teoretiska konstruktionen. Dess diameter är ungefär 0,2 m mindre än teoretisk spontlinje. Detta för att ge tillräckligt utrymme vid spontsättning och förhindra mallen från att fastna när den skulle lyftas upp, jämför avsnitt 3.3.2. Det fanns även möjlighet att demontera mallen om

den skulle fastna, men det behövde aldrig utföras. Detaljen för demontering hade gjorts mer anpassad för arbete under vatten genom att byta saxpinnen mot en sprint med låsring, se figur 3.1.



Figur 3.1 Visar skarvdelen på mallen. Den bortre balken lyfts av innan demontering.

Mallen hade två styrningar på ett inbördes avstånd av 5 m varav den undre även försetts med en yttre styrning, se figur 3.2, som i fortsättningen bara benämns undre styrning. Sex stålrör placerades i mallen genom vilka man skulle slå pålar för att fixera mallen i rätt läge. Pålarna överför hela mallens vikt samtidigt som de förhindrar mallen från att flyta omkring och flytta sig ur rätt position. Mallen hade också sex flyttankar som var så konstruerade att man genom att ändra luftvolymen i dessa kunde justera mallen i höjdlid. Se även bilaga 5 och 6.

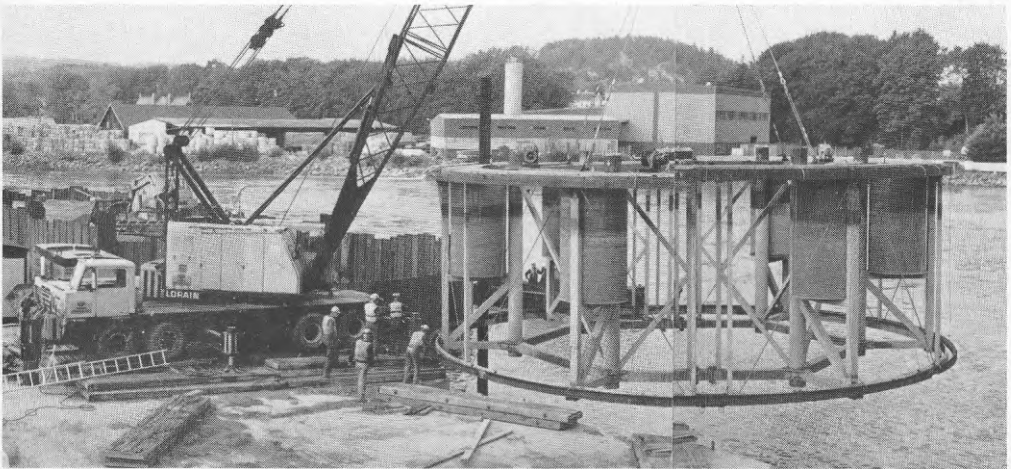


Figur 3.2 Undre styrningens utseende, varav den yttre delen är avtagbar.

3.3.2 Utsättning av mall

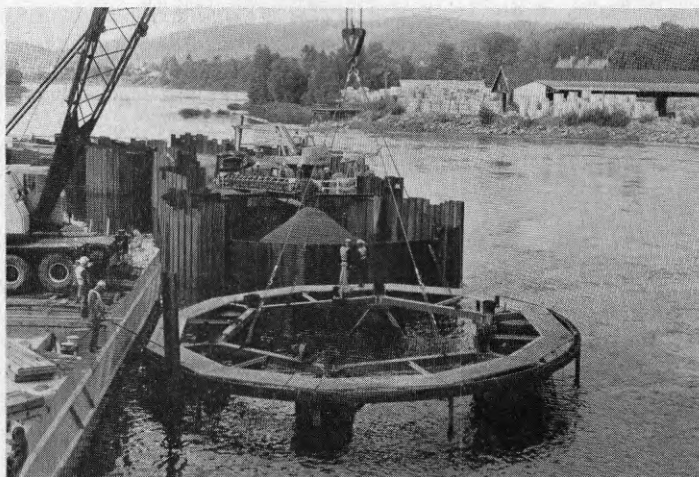
Innan man kunde lyfta mallen på plats, var man tvungen att sätta ihop den. Det enda som behövde göras var att montera på den undre styrningen, som bestod av fyra delar. När den var på plats fixerades en spontplanka i sådant läge att man vid spontsättningen skulle undvika att få två spontplankor att samtidigt hamna på någon av den undre styrningens 14 infästningspunkter. Pontonen skulle också placeras i rätt läge innan man fortsatte.

Mallen lyftes sedan på plats med hjälp av en kran, som stod på pontonen, se figur 3.3. När mallen flöt av sig själv, se figur 3.4, kunde man börja att justera den i rätt läge. Det var från början meningen att man skulle ha fyra vinschar, vilket skulle ha underlättat justeringen, men en vinsch hade gått sönder, så man hade endast tre till sitt förfogande. Därefter sattes mallen i väg genom att ändra luftvolymen i lufttankarna. Detta är viktigt eftersom en sned huvudcell medför att mellancellens vägg då kommer att bli skev och det försvårar spontsättningen av mellancellen.

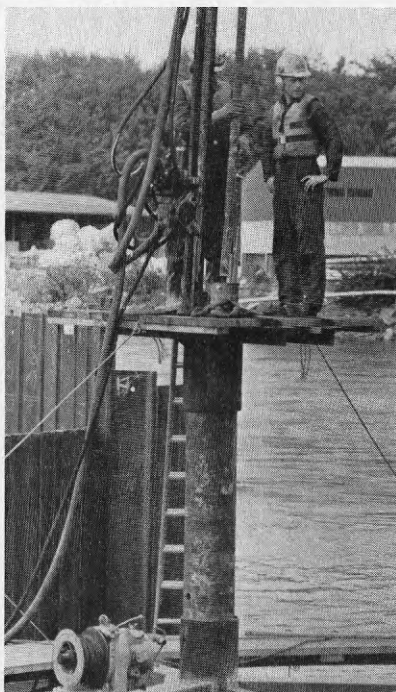


Figur 3.3 Spontmallen lyfts på plats

För att underlätta utsättningen, kom man fram till att det skulle gå lättast att justera in mallen i sitt rätta läge om riktning och avstånd var givna. För andra cellen satte man ut två polygonpunkter i en given riktning på stranden varefter avståndet mättes till den närmaste polygonpunkten. Cell nr 3 satte man ut med samma riktning, men längden mätte man genom att mäta avståndet till cell nr 2. När cell nr 3 var färdig satte man ut en ny riktning för de övriga cellerna och längden mätte man i fortsättningen genom att mäta avståndet till den sist färdiga cellen.



Figur 3.4 Spontmallen flyter av egen kraft, samtidigt som fyllning av föregående cell pågår.



Figur 3.5 Från plattformen borras ett hål i berget och här förs en bergdubb ner i hålet via pålen.

Sedan sattes den första av de sex pålarna på plats. För att kunna använda samma tryckluftshejare som vid spontslagningen använde man en adapter för att slå ner pålen genom moränlagret. På pålen monterades därefter en plattform med borrarutrustning. Från plattformen borrades, se figur 3.5, ett 1,5 m djupt hål i berget för att fixera pålen med en drygt 2 m lång bergdubb.

När första pålen var på plats gjordes en finjustering av mallens läge innan man satte ner två pålar till på samma sätt. Ytterligare tre pålar slogs ned till bergytan, men dessa fixerades inte i berget, utan fungerade endast som stöd.

3.3.3 Sponthantering

Spontplankorna tillverkades av Esch-Belval i Luxemburg. Sponten betecknades PBP 9.5 och är en planspont med en bredd av 500 mm och en garanterad dragkraft i spontlåsen av 3,3 MN/m. Spontplankornas längd varierade mellan 8 och 14 m.

Spontplankorna skeppades till Göteborg där de kontrollerades, jämför avsnitt 4.1, och sorterades sedan i olika längder. Från Göteborg pråmadades spontplankorna i omgångar till arbetsplatsen i Lilla Edet alltefter arbetsledningens beställningar. Varje omgång bestod av spont till en huvudcell och en mellancell. Från transportpråmen lyftes sponten med två fästpunkter upp på stora pontonen med hjälp av kranen på densamma.

3.3.4 Spontsättning

Man hade redan vid utsättningen av mallen svetsat fast en spontplanka i sitt rätta läge, den s.k. startplankan, i förhållande till den undre styrningen. Det är också viktigt att startplankan står vertikalt, eftersom det annars kan uppstå problem när man ska få ihop spontväggen.

Sponten lyftes med en fästpunkt från det tillfälliga upplaget på pontonen, se figur 3.6, vilket enligt amerikansk erfarenhet går bra med spontlängder upp till 21 m.

Man utgår från startplankan och sätter spont i båda riktningarna, men alltid så att man på älvsidan sätter sponten i strömmens riktning. På så sätt trycktes spontväggen in mot mallen där det är mest strömt. Enligt amerikanska teorier/erfarenheter bör vattenhastigheten inte överstiga 1,2 m/s vid spontsättning. Här var vattenhastigheten upp till 1,4 m/s utan att några olägenheter uppstod.

Det är viktigt, att man i början ofta kontrollerar att sponten står vertikalt, vilket senare bara behöver kontrolleras ibland.

Vid den undre styrningens 14 infästningspunkter sattes två spontplankor i taget. Man hade flera anledningar till detta förfarande, dels slapp man att vara högt uppe i luften och styra den andra spontplankan rätt, dels stod stegen stadigare mot två spontplankor när man skulle klättra upp och lösgöra lyftwiren och så behövde man bara klättra upp en gång. Innan man kommit så långt, var man tvungen att sätta ihop två spontplankor.

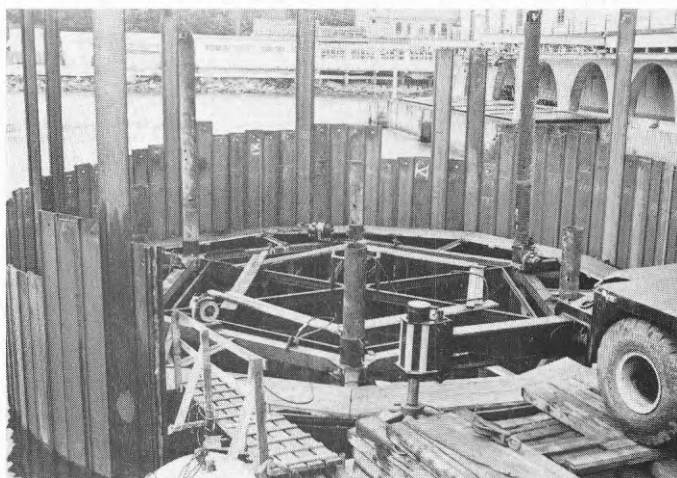


Figur 3.6 Spontplankorna lyftes med en fästpunkt vid spontsättningen.

Det gick till på så sätt att man satte ned en spontplanka inne i mallen och fäste den mot en stödpåle och sedan sammanfogades de båda spontplankorna, se figur 3.7. När detta var gjort lyftes de upp och man styrde den första rätt och släppte ned dem tills undre styrningens fästpunkt tog emot. Då lyfte man lite och svetsade på en passbit på den första spontplankan så att den fixerades något ovanför infästningspunkten. Sedan klättrade en man upp och lossade schacklet från den första spontplankan så att man sedan kunde släppa ner den andra till botten. Därefter fortsatte man på samma sätt i båda riktningarna, se figur 3.8, tills det bara fattades en spontplanka. För att få denna att passa in, var man tvungen att justera öppningsvidden ovanför vattenytan. Detta skedde genom att man med spett, andra större hävarmar eller på annat sätt flyttade på spontväggarna. Samtidigt som öppningsvidden justerades smorde man den sista spontplankans lås med fett, för att det skulle gå lättare att få ner den i spontväggarnas lås. När man fått ned den sista spontplankan en bit i spontväggarna, se figur 3.9, kunde man lossa lyftwiren. Nu gällde det att få ner spontplankan också. Detta skedde genom att man först lyfte fyra eller fem spontplankor, se figur 3.10, i anslutning till den sista spontplankan. Genom att lyfta en sida i taget fick man genom friktion i motsatta låset en ytterligare låsning på någon meter. Sedan fixerades de upphissade spontplankorna i höjdläge genom att passbitar svetsades fast på spontplankorna, se figur 3.11. Passbitarna vilade på mallens övre styrning. Därefter gjorde man på samma sätt på andra sidan av sista spontplankan. Lyftningen medförde också att spontplankornas underkant kom att hamna ovanför bottenmaterialet och genom att man fick spont-

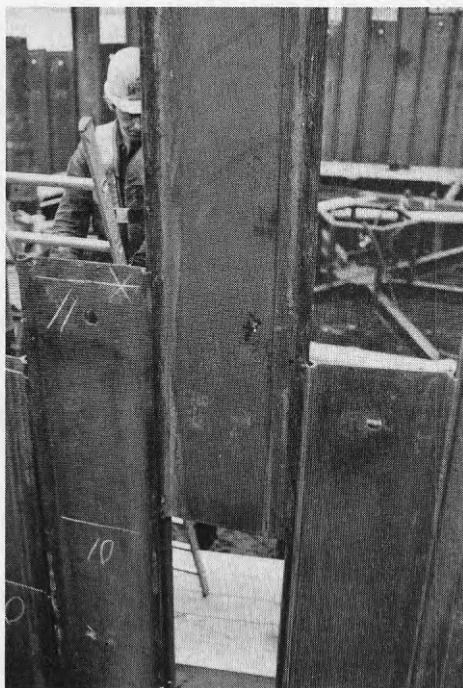


Figur 3.7 Två spontplankor sätts ihop innan de monteras i spontväggen.



Figur 3.8 Stora delar av spontväggen är färdig.

väggarna att röra sig, kom låsvidden även under vattenytan att ändras och sista spontplankan åkte ned ytterligare. Om man inte fick ned den sista spontplankan till samma nivå som de upphissade, fick man ta tryckluftshejaren till hjälp. När detta var klart, tog man bort passbitarna och hela den höjda delen kunde sänkas ned.

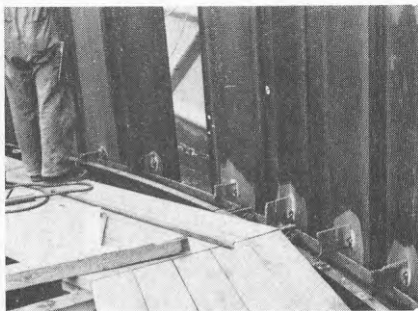


Figur 3.9 Sista spontplankan delvis på plats.

Med sponten på plats var det dags för dykaren, se figur 3.12, att gå ned och ta bort den undre styrningen och samtidigt kontrollera spontplankorna. Vid borttagande av styrningen var man först tvungen att dra upp sprintar med wire. Från början var det meningen att detta skulle ske för hand från mallens plattform, men sprintarna hade ofta klämts fast. Då detta inte gick var man tvungen att skaffa en grövre wiredimension så att man med hjälp av kranen kunde dra upp sprintarna. När dessa var borttagna hände det ibland att styrningen åkte ut av sig själv, men oftast fick dykaren hjälpa till. Detta tillgick på så sätt att han försökte slå och bända ut styrningen. Till sin hjälp hade dykaren också en liten behändig domkraft, se figur 3.13. Med denna kunde han pressa ut styrningen. När den var loss, lyfte kranen upp styrningen på prämen för att sedan monteras på mallen vid byggnad av nästa cell. När dykaren kontrollerat att sponten stod rakt och att låsen var hela, inspekterade han botten och tog upp två prover av bottenmaterialet. Om materialet innehöll mycket lera måste det tas bort, jämför avsnitt 4.2. Bottenmaterialet var fast lagrat, så dykaren var tvungen att med hjälp av en spade eller brandspruta lösa upp materialet när det skulle mammutpumpas.



Figur 3.10 För att få ner sista spontplankan lyfte man upp fyra ä fem spontplankor i anslutning till densamma.



Figur 3.11 När man lyft spontplankorna i anslutning till den sist monterade, fixerades spanten i höjddled med hjälp av passbitar.



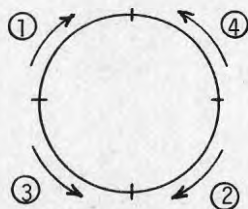
Figur 3.12 Dykaren på väg att gå ner och kontrollera spontplankorna och ta bort den undre styrningen.



Figur 3.13 Dykarens behändiga domkraft som han använder när den undre styrningen ska pressas ut.

3.3.5 Spontslagning

Spontslagning utfördes enligt figur 3.14 med en 800 kilograms dubbelverkande tryckluftshejare.



Figur 3.14 Schema över spontslagningen.

Från början var det meningen att spontslagningen skulle utföras med en vibrohejare, men denna slog bara sönder spontplankorna, eftersom dessa inte behövde slås genom något bottenmaterial, jfr avniss 3.2. Det är viktigt att man bara slår sponten en bit i

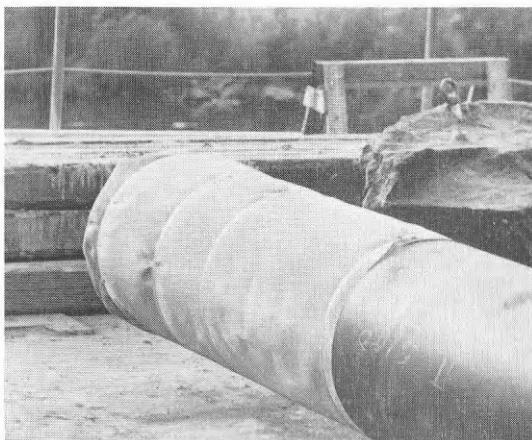
taget, 1,5 - 2 m, härigenom minimeras risken för buckling av sponten samt skador på låsen. Slagningsschemat medförde att sponten inte kom att luta åt samma håll vilket inträffar om man slår helvarv. Man förhindrade härigenom också att låsen kärvade och eventuella skador på dessa. Om något hinder påträffades vid spontslagningen, måste detta undersökas, för att man inte skulle riskera att slå sönder någon spontplanka.

När slagningen var klar, gick dykaren ned igen och kontrollerade spontplankorna, så att dessa inte gått sönder i underkant eller att spontlåsen var trasiga. Detta för att förhindra uppkommande av större läckage. Vid större skador skulle de aktuella spontplankorna bytas ut mot nya. Några stora skador uppstod ej, varför inga spontplankor byttes ut.

Överensstämmelsen mellan beräknat och verkligt neddrivningsdjup visade sig i stort sett vara god, jfr bilaga 4. Avvikelsen blev cirka 2 % av spontlängden beräknad från nivån +2,50. Undantaget är cell 8, där man hade en borrhål 1 meter innanför den tänkta cellväggen. Man antog då att bergytan var jämn, men så var inte fallet. Vid spontsättning av denna cell blev konsekvensen av detta att man inte visste om man stötte på ett stort block eller bergytan. Eftersom injekteringsarbeten pågick på arbetsplatsen kunde man låta borra ett antal provhål längs spontväggens tänkta läge. Dessa hål visade att bergytan låg högre än vad ritningarna angav och man kunde lungt fortsätta spontningsarbetet. Maximal avvikelse blev här 7 % av spontlängden.

3.3.6 Montage av pumprör

Efter spontslagningen började man delvis skära av sponten mellan knutpunkterna där transportvägen skulle gå. Dessa skars bort helt efter det att man fyllt cellen färdigt. När detta var klart lyfte man bort plattformen från mallen och två stålrör lyftes på



Figur 3.15 Den perforerade delen av pumpröret kläs in med en rostfri stålduk som filter.

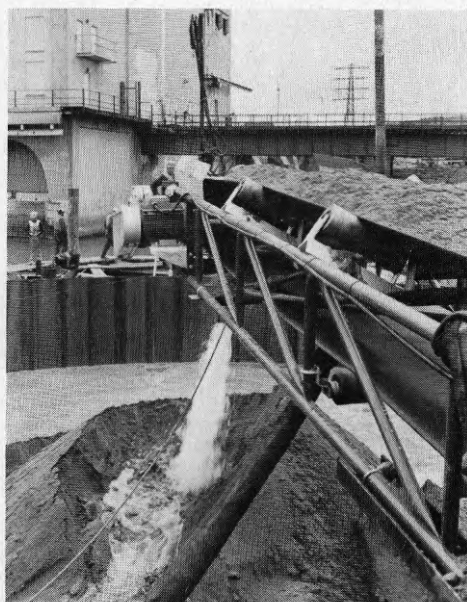
plats så att de vilade på botten, se bilaga 7. Dessa bestod av ett perforerat rör med diametern 600 mm och ett rör med diametern 220 mm. Rören skulle senare tjänstgöra som pumpbrunnar, varav det mindre som djupbrunn. Innan det grövre röret sänktes ner kläddes dess nedersta del på en längd av 2 m med en rostfri stålduk, med maskvidden 0,5 mm, se figur 3.15, som hindrade fyllningen att följa med upp vid pumpning. Sedan svetsades rören tillfälligt fast vid två av mallens sex hörn.

Före fyllningsarbetena lodade man botten på 10-16 olika ställen i cellen för att få ut ett medeldjup, som senare skulle användas vid beräkning av fyllningens densitet, jfr avsnitt 4.3.

3.3.7 Fyllningsarbeten

Fyllningen skulle bestå av grusig sand eller sandigt grus med en finjordshalt understigande 5 %, maximal stenstorlek på 60 mm och fyllningens graderingstal skulle vara minst 10. Kravet på skrymdensitet var 1,8 ton/m³ vid fyllning i vatten och på inre friktionsvinkeln var kravet satt till 30°.

Grusmassorna transporterades med lastbil från grustaget till arbetsplatsen. Cell nr 2 fylldes på så sätt att lastbilarna tippade fyllningen i en betongficka på land och sedan lyfte en kran över materialet till cellen med hjälp av en betongbask. Med denna metod fick man en kapacitet av 40 m³/h medan de andra cellerna fylldes med en kapacitet av 70 m³/h. Det skedde på så sätt att lastbilarna tippade sin last i den sista färdigfyllda cellen, se figur 3.16. Cellerna fylldes till mallens underkant och sedan de två rören skurits bort lyftes mallen upp. Vid stora vattendjup kan man lyfta upp mallen etappvis, fylla cellen däremellan och på så sätt förhindra att den deformeras innan den är helt fylld. Mallen var så konstruerad att den kunde tas isär och här-



Figur 3.16 Fyllningsmaterialet transporteras ut den sista biten till huvudcellen på transportband för att sedan spolas ut.

igenom bli mindre innan den lyftes upp. Fyllningsmaterialet tryckte ut spontväggen och eftersom cellens teoretiska diameter var ungefär 1 % större än mallens, behövde man inte ta isär mallen, utan kunde lyfta upp den som den var.

När mallen var bortlyft fortsatte man att fylla cellen tills den var helt fylld genom att placera transportbandet så materialet föll ner i mitten av cellen. När fyllningen nådde ovanför vattenytan fick den rasa ut mot cellens mantelyta med sin naturliga rasvinkel. När materialet nådde upp till transportbandet började man spola ut det med en kraftig pump, som hade en kapacitet av 75 l/s. Härigenom spolades materialet ut mot mantelytan, samtidigt som vattenmättnaden ovan vattenytan medförde en bättre packning. En nackdel med spolningen är att mera av de fina fraktionerna än de grövre spolas bort. Detta medför att materialet icke blir homogent. I cell nr 2 försökte man vibrera ut materialet mot mantelytan med vibrostavar men det misslyckades så man började spola ut materialet med tre mindre pumpar. När detta inte gav önskat resultat bytte man till en större pump som fungerade tillfredsställande. Cellerna fylldes upp till +2,5 m. Som ± 0 m räknades normalt lågvattenstånd och högsta högvattenstånd var 2,2 m. Det är viktigt att fyllningsmaterialet är jämnt utlagt så cellväggen blir jämnt belastad. Den totala fyllningsvolymen i cellerna och mellancellerna blev 15.000 m³, vilket motsvarar 27.000 ton fyllningsmaterial.

Den maximala stenstorleken hade i praktiken ändrats från 60 till 100 mm, detta eftersom gallret i fickan ovanför transportbandet hade denna dimension. De stenar som fastnade i gallret togs bort, men hamnade ändå i någon cell, så någon maximal storlek fanns egentligen inte.

3.3.8 Kompletteringar

När cellen var färdigfylld skulle portrycksmätare sättas på plats enligt bilaga 7, sex stycken i varje cell. Dessa trycktes ned i fyllningen. Om detta misslyckades hade man kunnat spola ner dem, men det behövde aldrig tillämpas. Portrycksmätaren bestod av en hård spets, en porös filtersten och sedan själva portrycksmätaren. Portrycksmätningen redovisas senare i avsnitt 4.4.

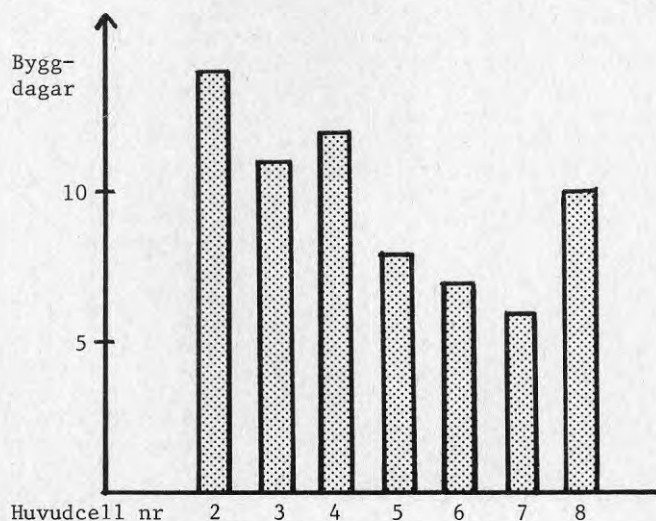
I djupbrunnen, se bilaga 7, som bestod av ett \emptyset 220 stålrör skulle man borra ner ett hål 2 m ner i berget. Hålet skulle vara 216 mm i diameter, varpå röret lyftes upp en meter och kompletterades med en fem meter hög rostfri stålduk med maskvidden 0,5 mm, så mellanrummet mellan röret och bergytan täcktes och stålduken stack upp två meter i röret, se detalj 2, bilaga 7. När man borrade hålet i berget fann man att bergets kvalitet var mycket låg och bara rasade sönder. Då beslöts att utesluta detta moment och bara använda \emptyset 600 brunnen. Denna brunn skulle ha en pumpkapacitet på 33 l/s.

För mätning av deformationer vid länspumpningen utrustades vissa celler med inklinometer-rör. I cellerna 4-7 stoppades ett inklinometer-rör i varje cell ner i foderrör från injekteringsarbetena och mellanrummet fylldes med fin sand, se vidare avsnitt 6.1. På de tre sista cellerna hade man svetsat fast ett inklinometer-rör på en spontplanka i varje cell innan spontsättningen. I bot-

ten på dessa inklinometererrör hade man också svetsat fast en platta som skydd mot inträngande av grus och dylikt. Inklinometererrören var av samma typ som används i betongpålar.

3.3.9 Tidsåtgång

Inkörningsförlopp för byggande av huvudcellerna, figur 3.17, visar en normal utveckling med undantag av cellerna 4 och 8.



Figur 3.17 Inkörningsförlopp för huvudcellerna.

Vid byggande av cellerna 2 och 3 låg pontonen nedströms desamma. Innan man kunde börja bygga cell 4 flyttades pontonen så den kom att hamna på landsidan av den tänkta fångdammen. Detta medförde en extra tidsåtgång som ger sig tillkänna på byggnadstiden av cell 4. Den längre tidsåtgången som cell 8 erfordrade är dels beroende av att innan pontonen kunde flyttas ut på älvsidan, ville man fylla cell 7 färdigt. Detta skulle förhindra cellen från att ta skada av en eventuell sammanstötning med pontonen. Dels uppstod problem vid spontsättningen, då man inte visste om man stött på ett stort block eller om bergytan låg högre än vad som var känt.

I huvudcellerna var det meningen att man först skulle sätta fyra spontplankor i fjärdedelspunkterna och sedan trä i de mellanliggande från två håll. Man övergav denna metod och satt i fortsättningen sponten från en startplanka och gick i båda riktningarna hela varvet runt. På så sätt behövde man bara sätta ihop spontväggen en gång, i stället för fyra. Samtidigt blev spontväggens flexibilitet större.

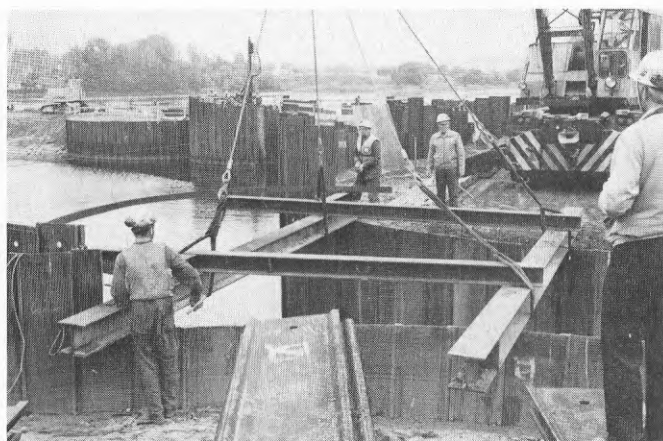
Yttre delen av den undre styrningen sitter fast i 14 punkter på mallen. Alltså måste lika många spontplankor, så länge styrningen är kvar, hänga med underkanten strax ovanför respektive infästningspunkt. Senare sattes två spontplankor över varje infästningspunkt, se avsnitt 3.3.4, vilket underlättade spontsättningen.

3.4 Mellancell

När två huvudceller var helt färdiga kunde man påbörja arbetet med mellancellen. Spontningsarbetet utfördes med ett arbetslag sammansatt av tre man, varav en körde 30-tons kranen. Fyllningen tippades direkt från lastbil i mellancellen och spolades ut mot cellens mantelyta av en man.

3.4.1 Mall

För att underlätta spontsättning i mellancellen tillverkades en enkel spontmall av en stål balkprofil som lades upp på de anslutande huvudcellerna enligt figur 3.18. Ett problem vid mellancellerna är att avståndet mellan huvudcellerna varierar, toleransen i fångdammens längdriktning var $\pm 0,2$ m, vilket medförde att mallen måste utföras med en mindre radie än den teoretiskt möjliga. Därigenom kunde spontplankorna inte sättas med samma precision som i huvudcellen.



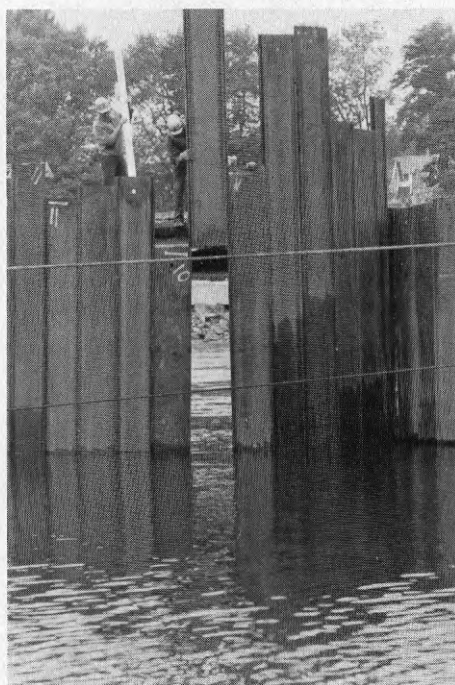
Figur 3.18 Utplacering av mall till mellancell.

3.4.2 Spontning

Innan huvudcellerna fylldes måste minst två spontplankor sättas ned i mellancellen för att förhindra böjning av anslutningssporten och anliggning i spontlåsen i mellancellen. När två huvudceller var fyllda, kunde arbetet med spontsättning i mellancellen påbörjas. Till sitt förfogande hade man en 30-tons mobilkran placerad på transportvägen uppe på de redan färdigställda cellerna. Omlastning av spontplankorna från transportpråmen till det provisoriska upplaget på den sist fyllda huvudcellen gjordes med 75-tons kranen. Spontsättningen utfördes vid en anslutningsbåge i taget. Man startade från båda ändarna och möttes på mitten. Ofta uppstod problem med att få ner sista spontplankan.

Den sista spontplankan fick man på plats efter att först ha fixerat plankorna omkring i sidled och sedan föra ner sponten en kort bit, jfr figur 3.19. Alternativt skulle man kunna sätta ned de två eller tre sista plankorna ihopsatta med en viss differens i vertikalled. I de fall anslutningsbågens längd var för stor använde man sig av en wire för att dra ihop spontväggen så mycket att öppningsmättet för sista plankan blev rätt. Oftast gick det inte att trä på sponten mer än ca 1 m. För att få ned hela spontplankan lyftes några plankor upp på varje sida så mycket att underkant spont kom ovanför bottenmaterialet. Spontslagningen utfördes på så sätt att man först slog de plankor som inte hade sjunkit ned till botten av sin egenvikt och sedan slogs alla spontplankor från den ena anslutningen till den andra. Till spontslagningen användes en 30-tons mobilkran och en 800 kg dubbelverkande tryckluftshejare. När båda anslutningsbågarna var färdiga utfördes en kontroll av spontlås och bottenmaterial med hjälp av dykare på samma sätt som i huvudcellerna, innan fyllning kunde påbörjas, jfr avsnitt 3.3.4.

Eftersom krökningsradien i mellancellen är mycket mindre än i huvudcellen, är det svårare att klara den större vinkeländringen mellan två spontplankor på grund av att låsen nyper. Vinkeländringen är $8,5^\circ$ i mellancellen och $4,1^\circ$ i huvudcellen. Här löste man problemet genom att välja ut plankor med stor låsöppning



Figur 3.19 Sista spontplankan i mellancellen sätts på plats.

och/eller liten tumme att användas i mellancellen. Det framfördes synpunkter om fördelar att arbeta med smalare spont (400 mm) vid en radie i den här storleksordningen (3350 mm).

3.4.3 Fyllningsarbeten

Mellancellerna fylldes med samma friktionsmaterial som användes till att fylla huvudcellerna. Skillnaden här var att fyllningen tippades från lastbil direkt ned i cellen istället för att transporteras på band sista biten. Härigenom kunde man undvara både transportband och grävmaskin, man kunde alltså utnyttja den sistnämnda för andra uppgifter.

När fyllningen med sin spets nådde upp i nivå med transportvägen började man även här att spola ut massorna mot spontväggarna, jfr fig. 3.20.



Figur 3.20 Massorna spolas ut i cellen.

När en hel gruslast, som nämnts ovan, på det här viset tippas direkt från bil ned i vattnet medför det dock, att en hel del av den luftmängd som finns i fyllningen vid leveransen följer med massorna ned och förblir kvar i fyllningen. Detta beror på att luften inte hinner ta sig ur fyllningen innan denna når botten, utan blir innesluten och kan förmodas bidra till en något sämre packningsgrad. Det har också visat sig att densiteten hos fyllningen i mellancellerna i genomsnitt är 2 % lägre än i huvudcellerna, jfr tabell 4.1.

Skillnaden i densitet vid de olika fyllningsmetoderna kan dock inte enbart tillskrivas den kvarblivna luftmängden. Det finns en del andra osäkra faktorer som måste tas med i bedömningen, exempelvis fördelningen av de sista grusleveranserna till varje cell, bärlagermassor som ersatt en del av grusfyllningen och mätnoggrannheten vid bestämning av cellernas verkliga volym.

3.4.4 Kompletteringar

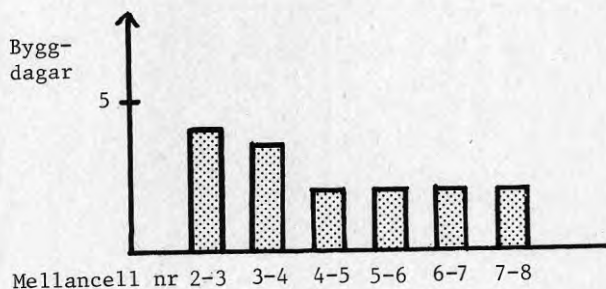
Innan fyllningen av mellancellen påbörjades, monterade man i cellen ett rör \varnothing 220 avsett för djupbrunn på älvsidan om den blivande transportvägen. Röret placerades på botten för att efter fyllning kompletteras med ett borrhål \varnothing 216 mm två meter ned i berg i vilket ett filter av rostfri stålduk skulle föras ner. Genom att dra upp röret en bit skulle filtret friläggas på minst 1 meters höjd i fyllningen, jfr bilaga 7. På grund av berggrundens låga kvalitet (svårigheter att få ett borrhål som stod öppet) övergavs dessa planer. Om det längre fram visar sig att vattennivån måste sänkas i någon av mellancellerna, får en pump försedd med filter sänkas ned i det befintliga röret.

För att kontrollera vattenståndet i cellen installerades 2 st porttrycksmätare, en på vardera sidan. Röret, som var \varnothing 25 mm, trycktes ned i fyllningen med sin filterspets i nivå med underkant spont. Se även avsnitt 4.4 Inläckning.

För att kunna kontrollera hur fångdammen deformerades under och efter länsning installerades inklinometerrör i mellancell 6-7 och 7-8, se vidare avsnitt 6.1.

3.4.5 Tidsåtgång

Tidsåtgången för arbetena med mellancellerna visas i figur 3.21. Inkörningsförloppet kan anses ha haft en rimlig utveckling.



Figur 3.21 Inkörningsförlopp för mellancellerna.

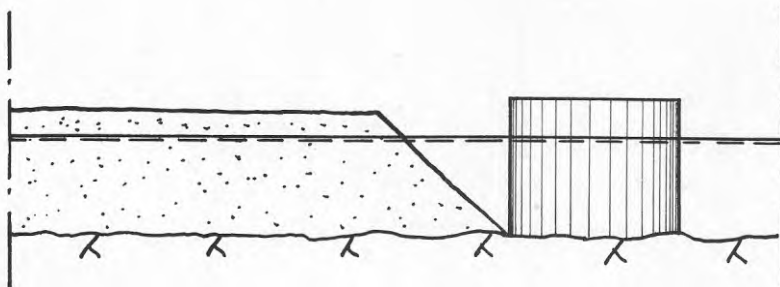
3.5 Dammanslutningar

3.5.1 Anslutning mot strand

Mellan stranden och cell 2 utförde man en jorddamm. För att motverka läckage och erosion slogs en spontvägg, typ Larssen IIIn, i dammen och anslöts till närmaste cell. Larssen-sponten är avsedd enbart för tätning och behöver därför ej förankras.

Till jorddammen användes jord i materialgrupp C enligt Mark AMA.

Först fyllde man ut jorddammen så långt att släntfoten nätt och jämt nådde fram till spontfoten i cell 2, se figur 3.22.



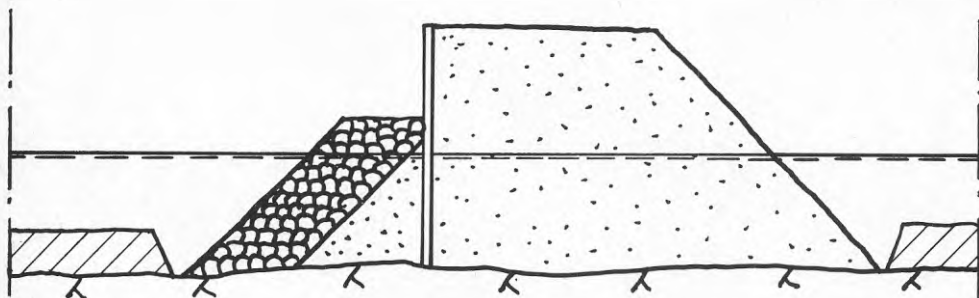
Figur 3.22 Utfyllnad av jorddamm mot cell 2.

När huvudcellen var fylld upp till mallens underkant med hjälp av mobilkran och betongbask, fyllde man ut jorddammen så långt att man kunde placera ett transportband mellan dammen och cellen.

Därigenom kunde man öka fyllningskapaciteten i cellen från 40 till 70 m³/h. Efter det att mallen lyftes upp fylldes cellen upp till +2,50 och man kunde därefter fylla emot med material till jorddammen. Larssen-sponten anslöts till cellen och slogs med hjälp av vibrohejare ned till berg.

Teoretisk spontöverkant var +2,50, men de flesta spontplankor nådde till ca +3,0.

När tätsponten var färdig fyllde man upp transportvägen till ca +3,0. På älvsidan placerades ett erosionsskydd bestående av ett 1,5 m tjockt lager naturlig morän, se figur 3.23.

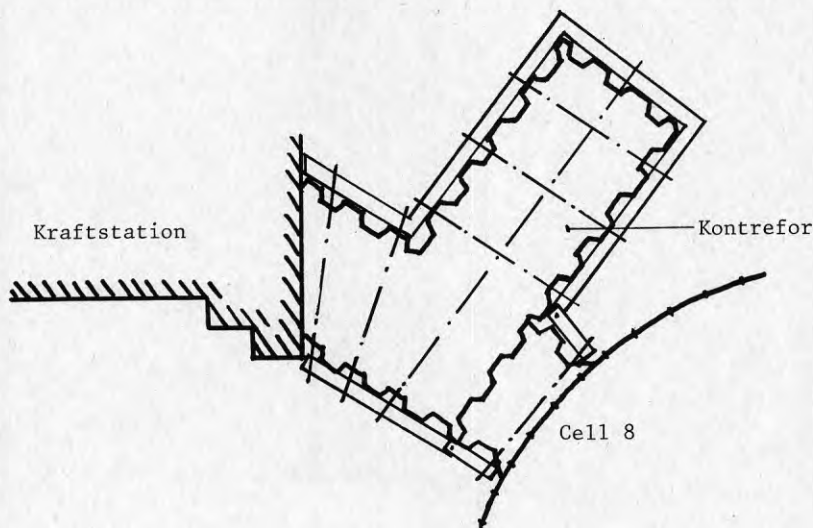


Figur 3.23 Färdig jorddamm med Larssen-spont och erosionsskydd.

3.5.2 Anslutning mot kraftstation

Anslutningen utfördes med sponttyp Larssen II och med 2 st hammarband av dubbla U 160-balkar, placerade på nivå -3,5 resp. +0,5. Hammarbanden hålls ihop med hjälp av dragstag mellan motstående sidor. Det större utrymmet, se figur 3.24, fylldes med undervattensgjuten betong upp till nivån ± 0 , vilket motsvarar ca 105 m^3 . Denna del utfördes med en kontrefor för att förbättra stabiliteten mot stjälpning. På landsidan om sponten mellan kontrefor och kraftstation lutade bergytan brant ned mot stationens grundmur, vilket medförde att man fick dålig tätning mellan spontfot och bergyta. Dessutom var ytberget av låg kvalitet (vittrat berg) och man gjöt därför igen graven med undervattensbetong upp till nivån -5,0, motsvarande ca 30 m^3 . Delen närmast huvudcellen ska kunna ta upp eventuella deformationer i fångdammen under och efter länsning p.g.a. ensidigt vattentryck och stömningstryck. Den är stabiliserad i botten med undervattensbetong upp till -4,0, dvs. ungefär en meter över bergytan.

Därefter tätades det dåliga berget under anslutningen genom att injektera cirka två ton injekteringsbruk. När detta arbetsmoment var klart fyllde man upp till +1,5 med samma jordmaterial som i cellerna.



Figur 3.24 Anslutning mot kraftstation med Larssen-spont och hammarband med dragstag.

3.6 Injektering

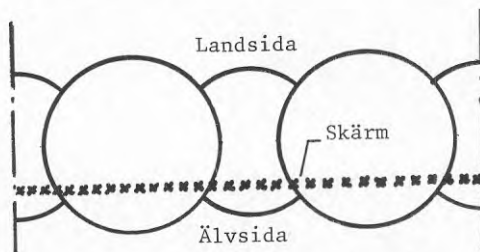
Vattenförlustmätningarna, se avsnitt 4.5, indikerade att berggrunden innehöll en stor mängd sprickor och slag och man tillgrip skärminjektering med cement för att tätta berget på älvsidan.

Närmast kraftstationen är vattenhastigheten så hög att risken för att fyllningsmaterial skulle erodera under spontfoten ansågs stor. Man utförde därför en jordinjektering i form av kemisk injektering.

3.6.1 Skärminjektering

Borrning för injekteringen företogs enligt en borrar metod som kallas Alvik X och är utvecklad av Stabilator. Till hjälp hade man en borrarvagn typ Tamrock med två stycken L400 borraraggat. Man borrade fem meter ner i berget eller minst en meter ner i friskt berg, vilket i genomsnitt medförde ett borrhjup på sex meter.

Från början var meningen att man skulle lägga skärmen utefter spontväggen, men på order från Statens Vattenfallsverk flyttades skärmen så att den kom att ligga parallellt med fångdammens centrumlinje enligt figur 3.25.

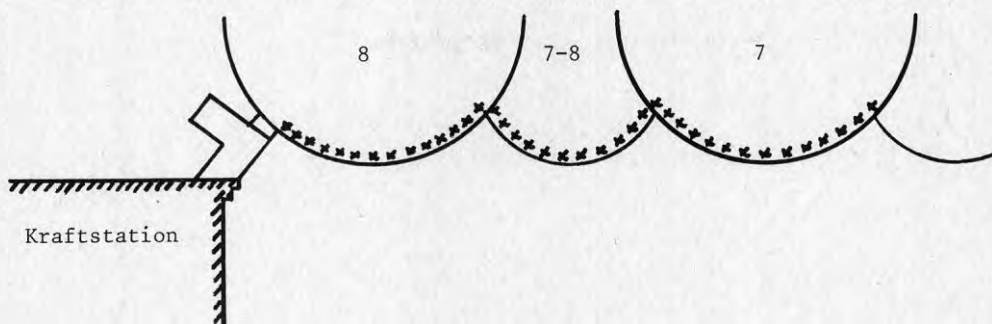


Figur 3.25 Visar med kryssen, injekterings-skärmens placering under fångdammen.

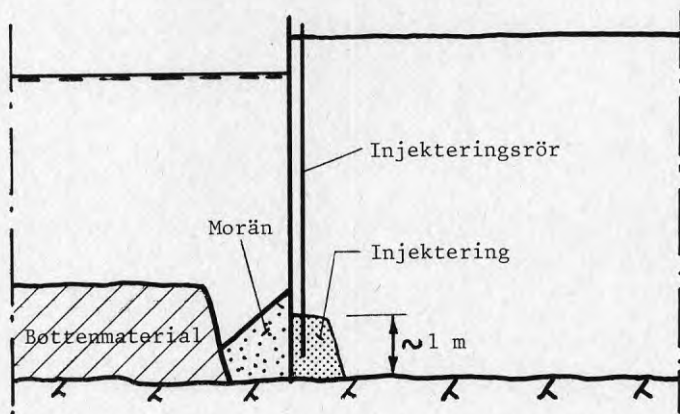
Det är viktigt att cement och vatten blandas så väl att man erhåller en kolloidal suspension utan klumpar. Cement och vatten blandades i en kolloidkvarn, modell Colcret. Den arbetar med mycket hög rotationshastighet och ger en väl blandad och stabil cementvälling utan klumpar. Från kolloidkvarnen transporterades vällingen till ett förvaringskärl med en omrörare, vilken förhindrade cementsuspensionen att separera innan den pumpades ut med en Simplex injekteringspump, till sprickor och slag. Pumpens tryck varierade mellan 400 och 600 kPa (4-6 kp/cm²). Cementblandningens vattencementtal (vct) var först 3 för att sedan minska till 0,5, detta för att lättare pressa ut den tunna vällingen i fina sprickor och slag och sedan tjockare för att fylla ut de större hålrummen. Man hade också tillsatt 0,8 % Intrusion Aid som verkar plasticerande, svällande och retarderande. Sammanlagt användes ungefär 60.000 kg cement till 119 hål med ett genomsnittligt borrhjup av sex meter, detta medför en genomsnittlig cementåtgång av 84 kg per längdmeter vilket kan anses normalt med hänsyn till uppmätta vattenförluster.

3.6.2 Jordinjektering

Fyllningen vid spontfoten jordinjekterades på älvsidan i cell 7, 8 och mellan cell 7-8 p.g.a. erosionsrisken. Nedströms cell 7 ansåg man strömhastigheten i älven vara så låg att det inte föreligger någon risk för erosion. Principen framgår av figur 3.26 och 3.27.



Figur 3.26 Visar omfattningen av jordinjektering.



Figur 3.27 Principskiss av jordinjektering.

Hålavståndet bestäms av borrhingskostnad kontra materialkostnad och man valde 500 mm avstånd, se figur 3.28.

Man räknade med en porositet av 40 %. Dessa värden på hålavstånd, porositet och dessutom ett överlapp på 200 mm gav totalt 180 l injekteringsbruk per hål. Injekteringen utfördes på tre olika nivåer per hål med 370 mm differens mellan nivåerna.



Figur 3.28 Borrhål för injektering.

Tätningen utfördes som kemisk injektering. Man hade tre olika injekteringsmedel att välja mellan, nämligen

- Cement-bentonitbruk
- Deflokulerat bentonitbruk
- Polymeriserande silikatbruk

Cement-bentonitbruken är för grovt injekteringsmaterial vid den här typen av arbeten och alltså olämplig. Deflokulerat bentonitbruk följer med det strömmande vattnet innan bruket stelnar och även detta material är alltså olämpligt. Polymeriserande silikatbruk slutligen, är ett lämpligare injekteringsmedel vid arbeten av den här typen och man valde därför att arbeta med detta. Bruket består av tre komponenter som blandas i olika mängder allt efter behov för erforderlig geltid. Injekteringen utfördes vid ett tryck av omkring 1 MPa (10 kp/cm²).

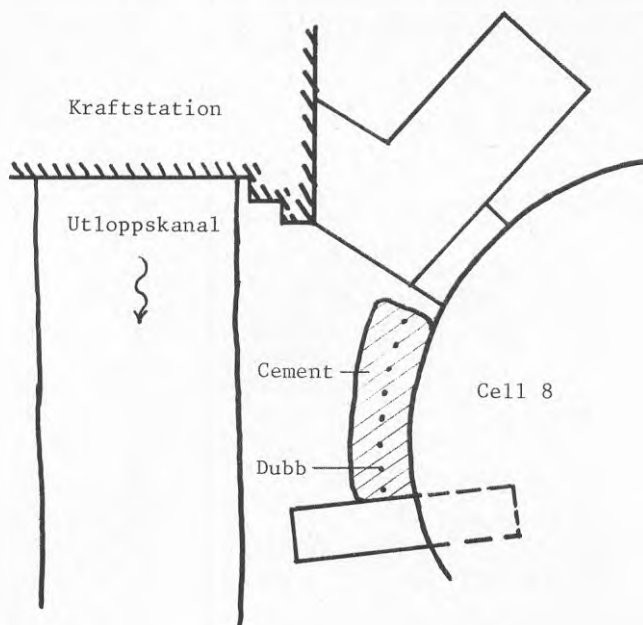
3.7 Erosionsskydd vid cell 8

På grund av den kraftiga vattenströmmen vid utloppet från kraftstationens aggregat 3 uppstod en kraftig erosion av moränlagret vid spottfoten närmast kraftstationen. I cell 8 eroderades

även en del av fyllningen i cellen bort genom otätheter mellan spontfoten och bergytan. Detta upptäcktes genom att synliga sättningar uppstod strax innanför spontväggen, se figur 3.29. Det visade sig vid en närmare undersökning att en gammal balk ligger under spontväggen som gör att virvlar uppstår och som med stor sannolikhet är orsaken till erosionen inuti cell nr 8. För att förhindra fortsatt erosion lade man utanför spontfoten ned fyra ton ren cement som hölls på plats med hjälp av dubb som borrats ned i berg, se figur 3.30. Sedan stack man in längsgående armeringsstänger som förstärkning. Detta utfördes mellan anslutningen mot kraftstationen och nedströms fram till balken under spanten i cell nr 8.



Figur 3.29 Sättning i cell 8 som avslöjade erosion i botten.



Figur 3.30 Tätning av spontfoten i cell 8.

4 KONTROLL

Kontrollen bestod i att man kontrollerade sponten, bottenmaterialet, fyllningsmaterialet, inläckningen i cellerna samt vattenförlusterna i berget. Även cellernas verkliga läge innan avsänkningen kontrollerades, vilket resulterade i att den största uppmätta avvikelser från det teoretiska läget var 0,2 m i dammens längdriktning, vilket kan anses vara en rimlig avvikelse.

4.1 Spont

Redan vid tillverkningen skickade Vattenfall en kontrollant till valsverket Esch-Belval i Luxemburg för att följa tillverkningen av spontplankorna och närvara vid fabriken kontroll.

Efter transporten till Göteborg ultraljudskontrollerades spontplankorna, särskilt anslutningsplankorna, med hjälp av ett par man från Esch-Belval. Även låsen kontrollerades på så sätt att man mätte låsvidden och tummens dimensioner med en tolk. Den var så konstruerad att den mätte toleranser på ± 3 mm. Spontplankorna med största glapp i spontlåsen markerades med en eller två röda punkter, beroende på glappets storlek. Dessa skulle sedan användas vid mellancellerna eftersom krökningsradien var mindre där. När kontrollen var utförd gulmarkerades alla godkända spontplankor och sorterades sedan i olika längder i väntan på transport till arbetsplatsen.

På arbetsplatsen skedde en stickprovning av spontplankornas lås, innan spontsättningen påbörjades.

4.2 Bottenmaterial

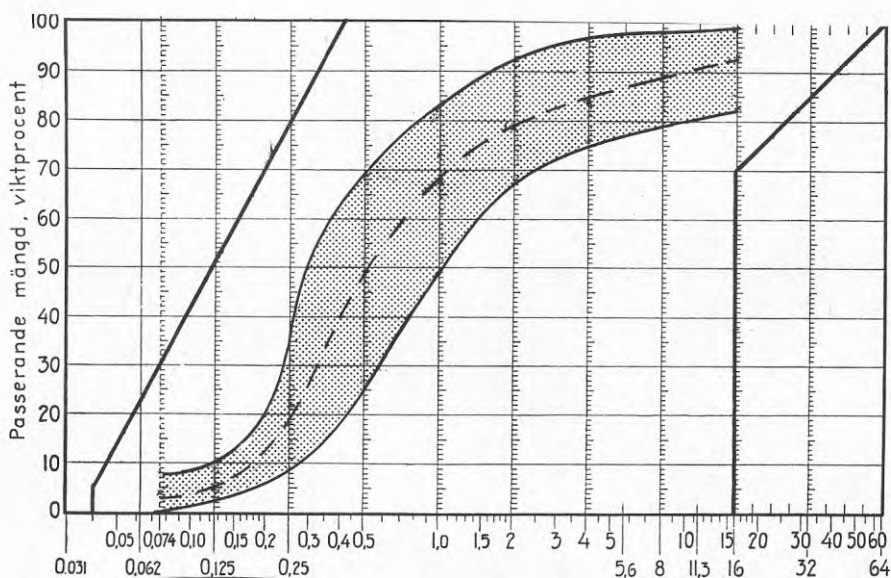
Efter spontsättning gick dykaren ner och kontrollerade spontplankorna. Samtidigt tog han upp två prover på bottenmaterialet. De upptagna jordproverna kontrollerades okulärt av Vattenfalls geotekniska kontrollant, som då avgjorde om det var riskfyllt att låta bottenmaterialet ligga kvar. Om så inte var fallet kunde man börja fylla cellen annars mammutpumpades cellen innan fyllningsarbetet påbörjades.

Proverna sparades ifall någon skulle vara intresserad. Vid tveksamma fall kunde proverna skickas till geotekniskt laboratorium för utförligare kontroll, men detta behövde aldrig utföras.

4.3 Fyllningsmaterial

Innan fyllningsarbetet kunde påbörjas skulle skjuvförsök göras på tre olika prover på det tänkta fyllningsmaterialet. Skjuvförsöken skulle utföras dränerade i en skjuvbox med effektiva normaltrycken 40, 80 och 156 kPa vid en skrymdensitet på $1,8 \text{ ton/m}^3$ och på så sätt kunde friktionsvinkeln bestämmas. Vidare skulle skrymdensiteten och kornfördelningen bestämmas innan fyllningsarbetets igångsättning. 3-4 prover per cell togs ut och skickades till laboratorium för siktanalys. Av denna framgår att siktkurvorna ligger innanför angivna gränser men att graderingstalen är mindre än 10, vilket var ett minimikrav. Men eftersom inläckningen var ringa hade materialets täthet ingen större betydelse.

Vidare skulle man från cell 4 och 8 bestämma friktionsvinkeln på vardera tre olika prover. Bilaga 8 visar dessa från cell 4. Denna visar att friktionsvinklarna varierade mellan 37° och 41° , vilket kan jämföras med kravet som var 30° .



Figur 4.1 Mellan de heldragna raka linjerna tilläts materialet variera. De heldragna kurvorna visar variationerna av 30 slumpmässigt utvalda siktanalyser och den streckade kurvan visar medelvärdet av desamma.

Huvudcellernas och mellancellernas area samt medelvärdet på de olika cellernas fyllnadshöjd bestämdes, jämför avsnittet 3.3.6. På så sätt kunde de olika volymerna beräknas. Då man höll kontroll över hur mycket material lastiblarna kört till varje cell kunde man bestämma de olika densiteterna, se tabell 4.1. En viss skillnad på fyllningens densitet i huvudceller och mellancellers finns, anledningen härtill finns beskriven i avsnitt 3.4.3.

TABELL 4.1 Fyllningens densitet i huvudcellerna och mellancellerna

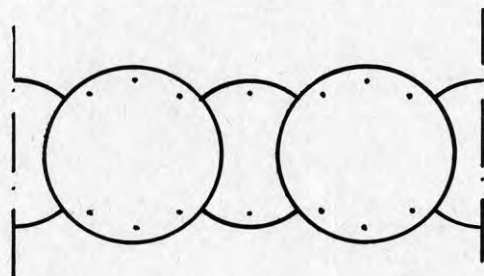
| Cell | h_{med} [m] | A [m ²] | V [m ³] | m_{sand} [ton] | γ_{sand} [ton/m ³] |
|------|-------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| 2 | 8,63 | 154,07 | 1329,6 | 2496,9 | 1,88 |
| 2-3 | 9,78 | 70,0 | 684,6 | 1260,0 | 1,84 |
| 3 | 10,52 | 154,07 | 1620,8 | 3024,5 | 1,87 |
| 3-4 | 10,57 | 68,8 | 728,6 | 1328,2 | 1,82 |
| 4 | 11,25 | 154,07 | 1733,3 | 3235,1 | 1,87 |
| 4-5 | 10,37 | 71,8 | 744,8 | 1346,6 | 1,81 |
| 5 | 11,07 | 154,07 | 1706,3 | 3151,8 | 1,85 ¹⁾ |
| 5-6 | 11,02 | 71,8 | 791,5 | 1432,4 | 1,81 |
| 6 | 10,30 | 154,07 | 1586,9 | 2906,8 | 1,83 |
| 6-7 | 10,03 | 71,8 | 720,2 | 1330,3 | 1,85 |
| 7 | 9,92 | 154,07 | 1528,2 | 2631,4 | 1,77 |
| 7-8 | 9,38 | 71,8 | 673,3 | 1212,9 | 1,82 |
| 8 | 8,22 | 154,07 | 1266,5 | 2280,8 | 1,80 |

1) Efter packning ökade γ_{sand} till 1,89 ton/m³

4.4 Inläckning

Stora läckage är farliga eftersom de medför att fyllningsmaterial kan erodera bort när vattnet avsänks på landsidan och detta i sin tur kan leda till att hela konstruktionen kollapsar.

I varje huvudcell hade man tryckt ner 6 porttrycksmätare och två stycken i varje mellancell, enligt figur 4.2.



Figur 4.2 Visar porttrycksmätarnas placering i fångdammen.

Allteftersom cellerna blev färdiga sänktes vattennivån i pumpbrunnen först två meter och sedan ytterligare två meter. Var tredje timme kontrollerade man hur lång tid som erfordrades för att pumpa en viss mängd vatten ur brunnen. Efter tre, fyra dygn när tömningstiden hade stabiliserats hade vattenytan intagit fortvarighetstillstånd och den mättes med hjälp av portrycksmätarna. Sedan stannades pumpen och vattenytans nivå pejlades in under ett dygn. Bilaga 10 visar diagram från provpumpningen av cell 4. Om det var stora läckage, vilket resulterade i små tömningstider, kunde man genom portrycksmätarna avläsa var läckan var lokaliserad. Även diagrammet över provpumpningen ger vägledning om detta. Läckage från älvsidan åtgärdades genom jordinjektion, jfr avsnitt 3.6.2, medan läckage från landsidan inte behövde åtgärdas. Efter eventuell injektivering skulle inläckningen åter kontrolleras.

4.5 Vattenförlust

Vattenförlusten ger en vägledning om vilken typ av injektiveringsbruk som blir lämpligt och en jämförelse mellan vattenförlusten och cementåtgången kan ge upplysningar av injektiveringsförloppet. Den sammanslagna vattenförlusten för alla kontrollpunkter ger också en vägledning om sprickornas och slagens lokalisering och deras riktning.

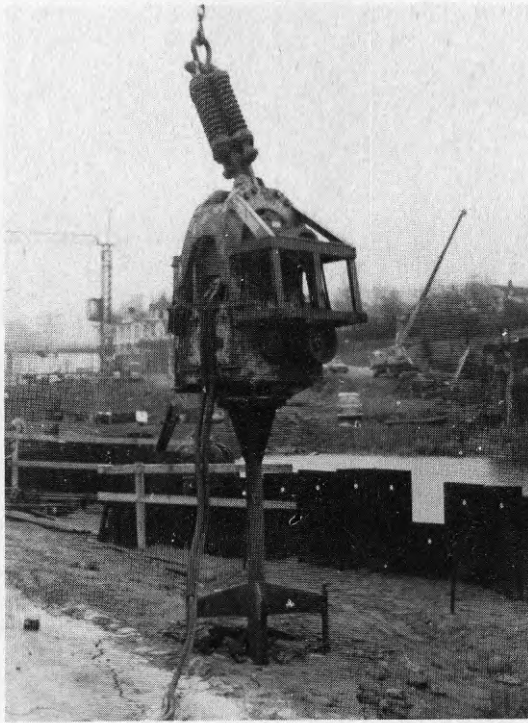
Under fångdammen gjordes en kontroll av bergets kvalitet genom vattenförlustmätning. Denna utfördes i fyra punkter i varje huvudcell och två i varje mellancell med hälften på älvsidan och andra hälften på strandsidan. Man borrade hålen, några decimeter innanför sponten genom fyllningen, tre meter ner i berget och utförde kontrollen på minst 3 nivåer från 0,4 - 3 m. På dessa nivåer mätte man sedan den mängd vatten som under en viss tid och visst tryck pressades ut per längdenhet av borrhålet. Berget var av låg kvalitet, endast cirka 10 % av hålen indikerade tätt berg. Gränsen för tätt berg är i Sverige satt till $1,6 \cdot 10^{-5}$ - $8,0 \cdot 10^{-5}$ l/s kPa och m (0,1 - 0,5 l/min kp/cm^2 och m). Efter en första injektiveringsomgång gjordes en kontroll av vattenförlusten i nya borrhål mellan de gamla. Resultatet blev att i hälften av kontrollhålen måste en kompletterande injektivering utföras. Därefter ansågs tätheten hos berget vara tillfredsställande.

5 DJUPPACKNINGSFÖRSÖK

Djuppackningsförsöket utfördes i cell nr 5. Avsikten var att undersöka om cellens deformationsegenskaper ändras med ändrad packningsgrad hos fyllningsmaterialet i cellen.

5.1 Arbetsordning

Vibrostaven, den s.k. "julgranen", fästes med hjälp av bultar till en vibrohejare. Denna hopkopplade utrustning lyftes sedan upp i mobilkranen och placerades över den punkt där man önskade göra vibreringen. Vibrohejaren startades, och julgranen arbetades ned genom friktionsmaterialet, se figur 5.1. Då julgranen trängt ned till önskat djup, lät man vibreringen fortgå någon minut på denna nivå, varefter utrustningen långsamt drogs upp.



Figur 5.1 Visar vibroutrustningen arbeta sig ner till önskat djup.

Eftersom vibroutrustningen (dvs. vibrohejaren plus julgran) var upphängd i en mobilkran, och därför saknade styrning i sidled, erhöill man problem vid nedvibreringen. Julgranen tenderade ofta att kantra på grund av att dess tyngdpunkt var högt belägen. Detta medförde att utrustningen, då den började luta, fick höjas (cirka en meter) för att erhålla vertikalt läge, för att sedan åter sänkas i ett nytt försök. Denna procedur fick upprepas en eller flera gånger per vibreringsställe och medförde att kapaciteten sjönk väsentligt.

Totalt utfördes 25 st nedvibreringar ("stick") på centrumavstånd 2 meter. Då cellen innehöll ett flertal rör vilka var placerade vid den del som vette mot strömfåran kunde inte vibrering utföras i detta område. Vibreringen gjordes inom ett område med ytan 100 m^2 och centrerat i cellen.

5.2 Kapacitet

Nedträngningshastighet 1,5 - 2,0 meter/minut

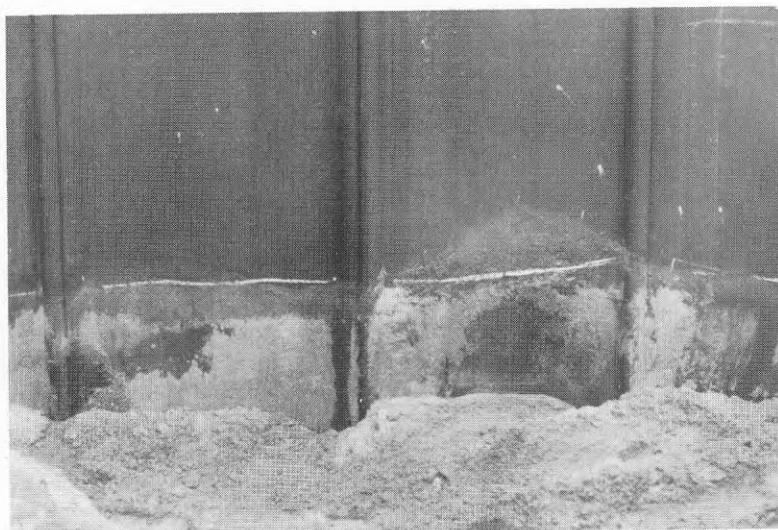
Uppdragningshastighet 4,0 - 4,5 meter/minut

Detta medförde att tidsåtgången per "stick" blev ca 10 minuter. Häre ingår inte den tid som åtgick för korrigerigering av vibroutrustningens vertikalitet.

Eftersom djuppackningsförsöket utfördes i omedelbar närhet av andra pågående arbeten och ytan av det område som skulle djuppackas var liten kan man ej erhålla något säkert kapacitetsmått för jämförelse med kommande arbeten (dock verkar en kapacitet av 4 - 6 stick/timma vara en användbar siffra).

5.3 Resultat

Vid djupvibreringen erhöill man en sjunkning av friktionsmaterialets överyta varierande mellan 20 och 30 cm, se figur 5.2, och sandfyllningens densitet ökade från 1,85 till 1,89 ton/m^3 . Av de mätresultat som erhållits, med avseende på deformationer i cellsponten vid länsning av fångdammen, kan man inte vid detta speciella försök se någon skillnad mellan en icke djupvibrerad och en djupvibrerad cell.



Figur 5.2 Visar sjunkningen av friktionsmaterialets överyta efter avslutad vibrering.

6 RÖRELSER VID AVSÄNKNINGEN

Avsänkningen tillgick på så sätt att man först sänkte vattennivån till -1,5 m på tre dygn. Sedan lät man nivån stå kvar i två dygn, så att grundvattnet i slänten skulle följa med. På fyra dygn sänkte man därefter ytterligare 2,5 m ner till nivån -4,0 m. Då stannade man kvar så grundvattnet kunde följa med och kontroller göras under tiden som vattennivån var konstant. Efter tre dygn fortsatte man tills allt vatten var länsat. Detta tog fem dygn. Under hela avsänkningen och en vecka efter avslutad avsänkning gjordes dagliga mätningar. Dessa mätningar bestod av kontroll av fångdammens, jorddammens och släntens rörelser, både horisontella och vertikala, vattennivåändringar i cellerna och portrycket i slänten. En vecka efter avslutad avsänkning kontrollerades rörelserna en gång i månaden.

6.1 Spontceller

6.1.1 Geodetisk inmätning

Vid mätningarna användes två olika teodoliter, Wild T1A och Kern DKM-2.

Det fanns två kontrollpunkter på varje huvudcell. De skulle inmätas en gång per dag från avsänkningens början och till och med en vecka efter avslutad pumpning. Som utgångsläge hade man en nollmätning som gjordes innan avsänkningens början. När avsänkningen var klar skulle ytterligare en kontrollpunkt appliceras på varannan cell. Nu skulle de placeras så nära botten som möjligt. I fortsättningen inmättes alla kontrollpunkter en gång per månad. Mätningarna utfördes med en teodolit, Wild T1A. Vi har valt att titta närmare på cell 5, som packades, se kapitel 5 och cell 6 för att den ligger mitt i fångdammens raka del. Sidorörelserna i rät vinkel mot fångdammen blev ungefär 10 mm mot den avsänkta sidan efter 25 dygn, se figur 6.1.

6.1.2 Inklinometermätningar

Inklinometermätningar gjordes i nio olika punkter, se bilaga 1. Utrustningen som består av inklinometerorr, mätton och inklinometerinstrument är en typ av lutningsmätare, som utvecklats av SGI. Hur inklinometerorrerna sattes ner framgår av avsnitt 3.3.8. Man mäter sidorörelserna nere i cellernas fyllning och spontväggens krökning. Mättonet, som sänks ner i röret, är så konstruerat att man på olika mätnivåer kan bestämma rörets aktuella lutning och riktning, vinkeln mot lodlinjen respektive vinkeln mellan vertikalplanet genom röret och en bestämd utgångsriktning. Genom mätning på olika nivåer i röret erhålls data för beskrivning av rörets krökningslinje vid mättillfället. Absolutläget bestäms genom att rörets nederände fixeras vid installationstillfället genom drivning till fasta bottenjordlager.

Vi har tittat på cellerna 5 och 6, som ovan samt mellancellen 6-7. Nollmätningen gjordes innan avsänkningen tog sin början och sista mätningen gjordes när avsänkningen var färdig. Viss osäkerhet i mätresultatet kan erhållas om utrymmet mellan inklinometerorr och foderrör ej är helt utfyllt. Här användes sand som ut-

fyllnad, möjligen hade injekteringsbruk givit ett säkrare resultat. Se figur 6.2, där rören 5:1, 6:1 respektive 6-7 visar sidorörelserna nere i cellfyllningen och rör 6:2 visar en spontplan-
kas krökning.

Efter 10 dygn, då vattennivån var -1,5 m, hade den översta delen av inklinometerröret rört sig ungefär 5 mm mot land. 24 dygn efter avslutad avsänkning var samma rörelse mellan 15 och 20 mm.

6.2 Jorddamm (strandanslutning)

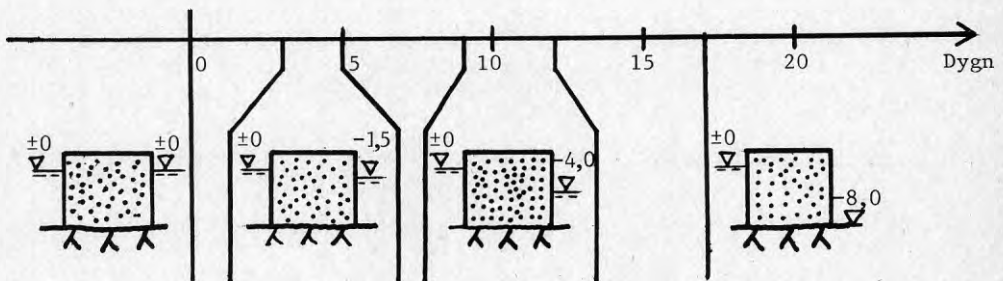
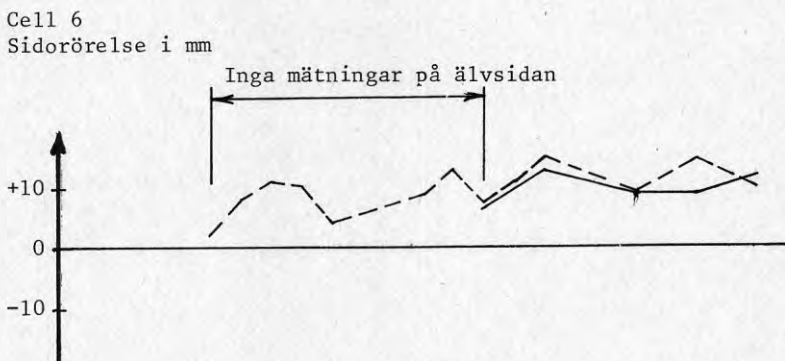
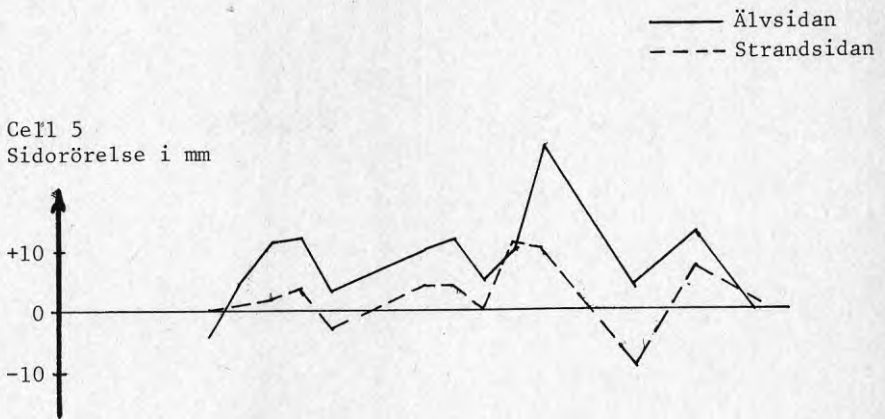
Under och efter avsänkningen mättes både jorddammens sidorörelse och sättning med en teodolit DKM-2. Man hade sex mätpunkter, tre på landsidan och tre på älvsidan, se bilaga 1. Vi har valt att titta närmare på punkterna 303 och 304. De andra punkterna ligger, dels för nära cell 2, dels för nära stranden för att visa rättvisa värden. Sidorörelsen i rät vinkel mot jorddammen varierade mellan ± 10 mm, se figur 6.3, som också visar en sättningsvariation mellan 0 och 5 mm. Värdena är osäkra då de inte är mycket större än instrumentens mätnoggrannhet.

6.3 Slänt (mot utloppskanal)

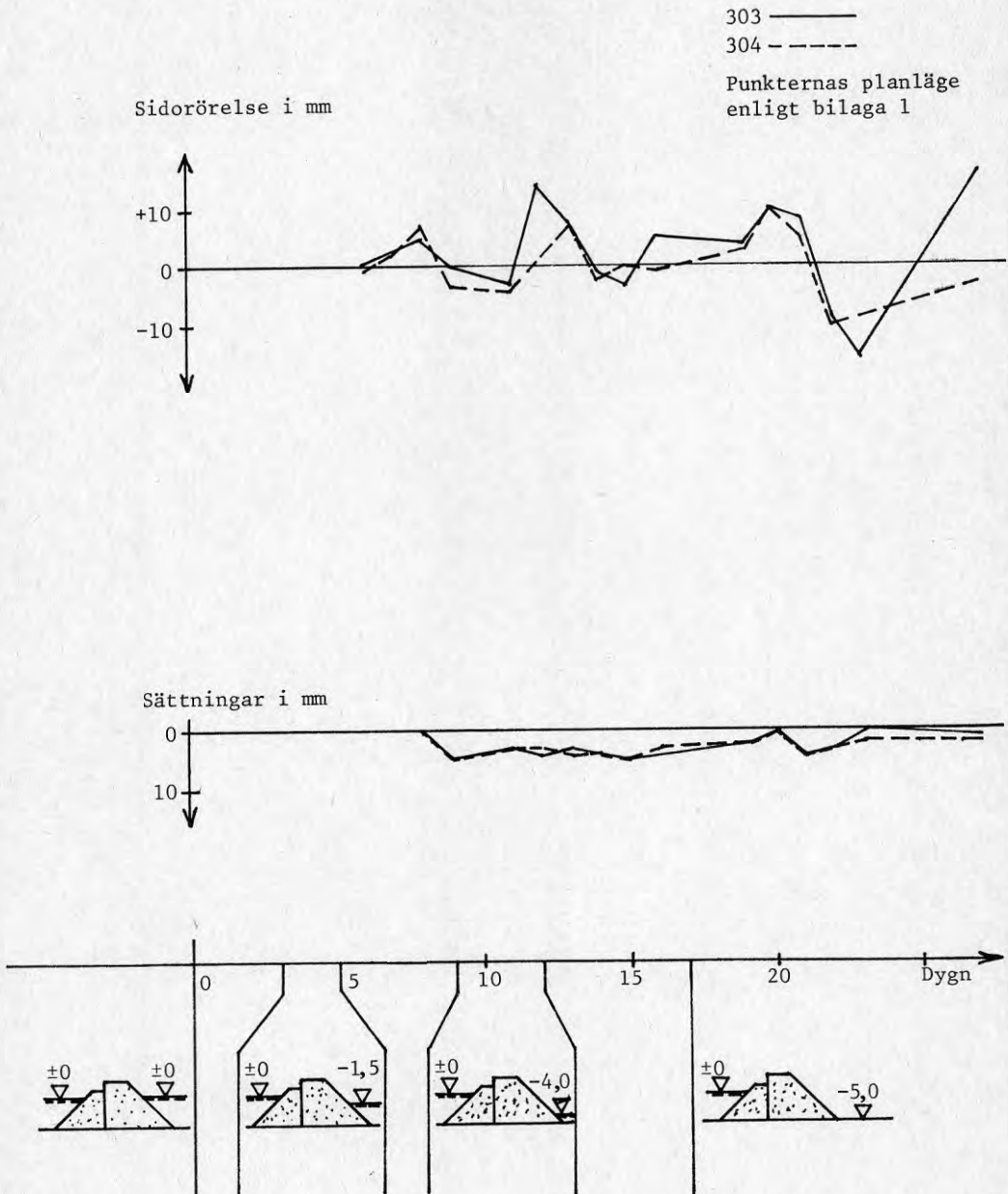
I samband med avsänkningen kontrollerades rörelserna i slänten vid älvstranden för att kunna upptäcka en eventuell glidning ner mot älven. Några större förändringar i släntens läge har inte uppmätts. En utglidning mot älven på några millimeter har skett samtidigt med en viss sättning. De uppmätta rörelserna är små och därmed osäkra. Av figur 6.4 framgår sidorörelser och sättningar i några av de kontrollerade punkterna. I figuren är sidorörelse mot älven ritad positiv. Punkternas läge i plan framgår av bilaga 1. Mätningarna utfördes med en teodolit DKM-2.

6.4 Vattennivåändring i cellerna

Vi har valt att titta närmare på samma celler som vid inklinometermätningarna. Mätningarna visar att vattennivån i cellerna följde med avsänkningen innanför fångdammen. I varje huvudcell finns sex portrycksmätare, se vidare avsnitt 3.3.8. Redovisade vattennivåer i figur 6.5 och 6.6 är medelvärdet av vattennivån i portrycksmätarna på älv- respektive strandsidan. Figur 6.5 visar hur vattennivån i huvudcellerna 5 och 6 ändras vid avsänkningen. Figur 6.6 visar vattennivåändringen i mellancell 6-7.



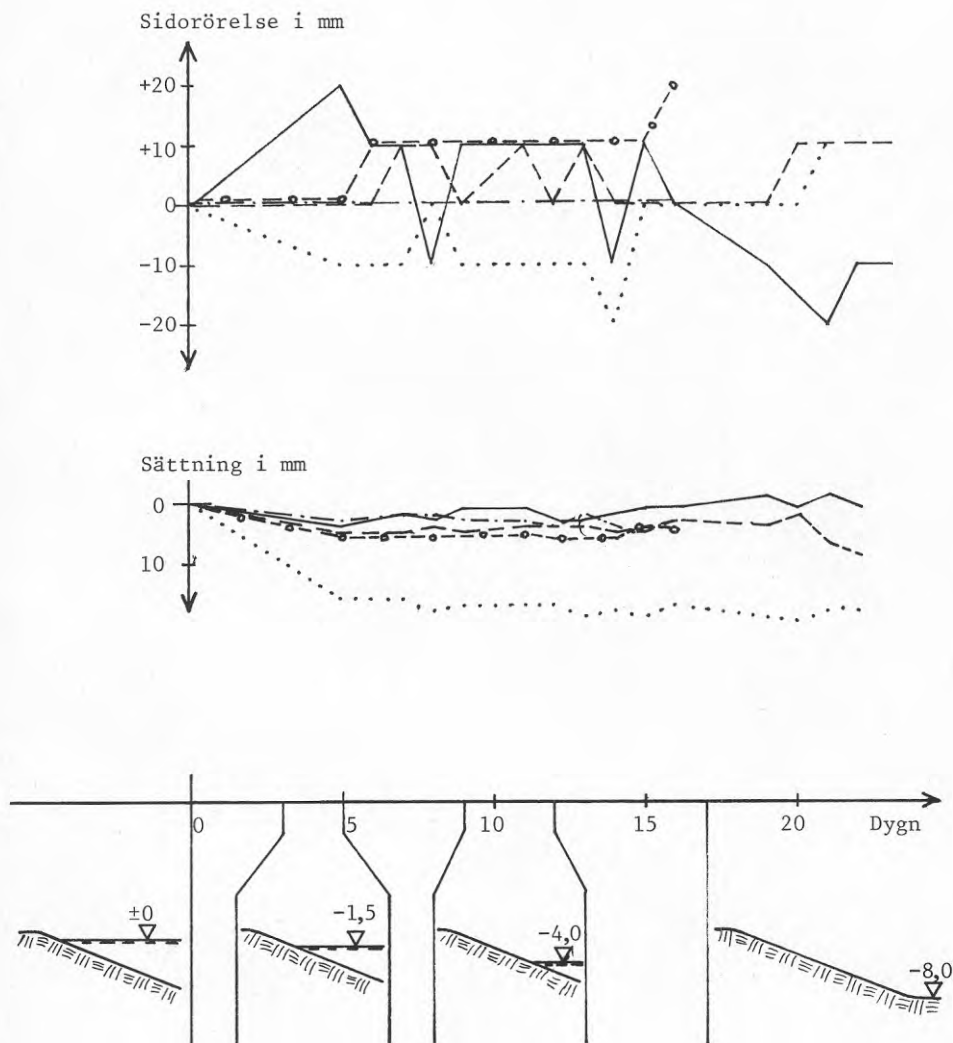
Figur 6.1 Visar sidorörelse vid spontöverkant i cell 5 och 6 mätt med teodolit. Positiv riktning mot avsänkta sidan (strandsidan).



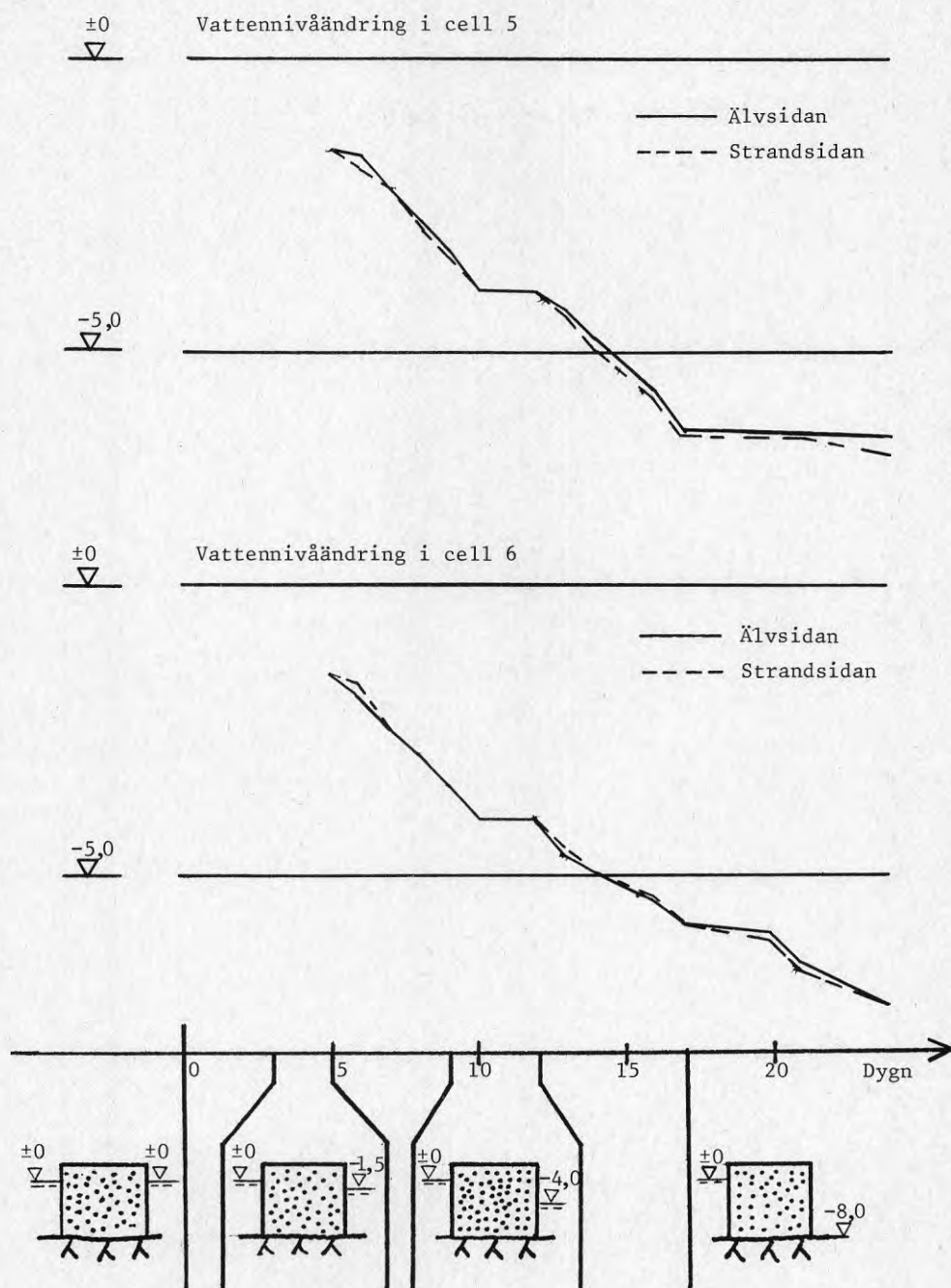
Figur 6.3 Visar sidorörelse och sättning i jorddamm. Positiv riktning mot avsänkningen.

Mät punkt 282 ———
 287 - - - - -
 289 - - - - -
 291 —○—○—
 293 ······

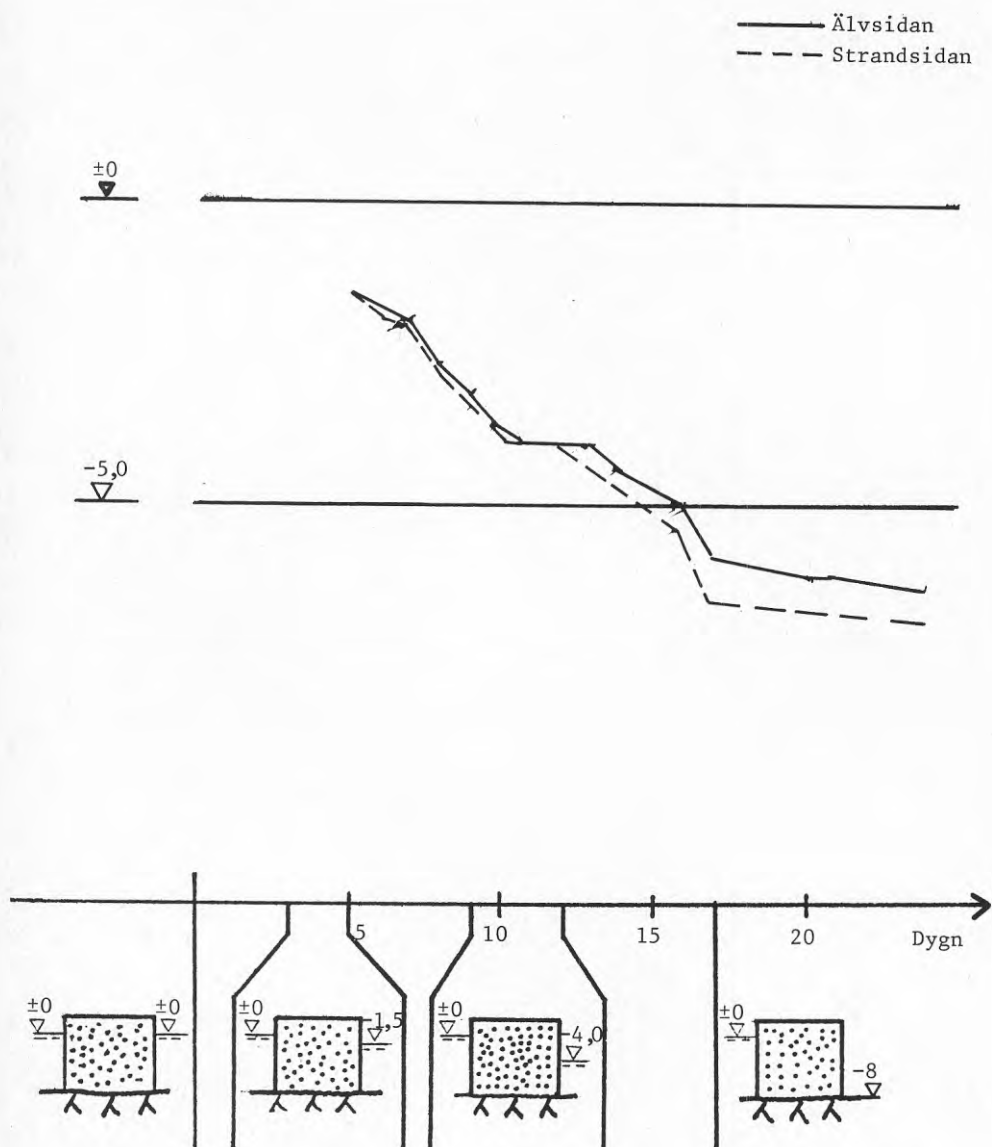
Punkternas planläge
 enligt bilaga 1



Figur 6.4 Visar sidorörelser och sättningar i slänt. Positiv sidorörelse mot älven.



Figur 6.5 Visar vattennivåändring i cell 5 och 6.



Figur 6.6 Visar vattennivåändring i mellancell 6-7.

7 DEFORMATIONER OCH SPÄNNINGAR BERÄKNADE MED F E M

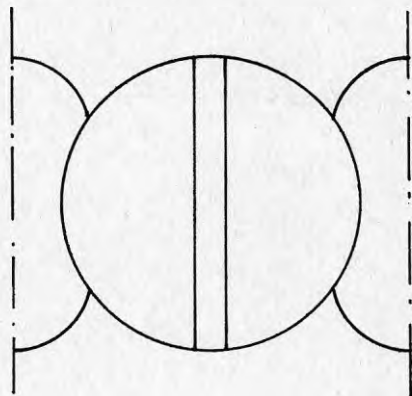
F E M står för finita element metoden och är en numerisk beräkningsmetod som har visat sig vara ett synnerligen effektivt redskap att lösa problem inom de mest skilda tekniska tillämpningsområden, däribland geotekniken. FEM-analysen utförs i fyra steg. Först görs en idealisering av problemet, avsnitt 7.1. Därefter utförs en elementindelning, avsnitt 7.2, dvs. konstruktionen indelas i ett antal element som var för sig är lätta att analysera. Sedan analyseras elementet i en elementanalys, avsnitt 7.3 - 7.5, varefter samtliga element sammankopplas genom villkor vid elementränderna till ett system i en systemanalys eller strukturanalys, avsnitt 7.6.

Inom jord- och bergmekaniken blir analysen ofta mer osäker än i strukturmekniken. Materialets egenskaper varierar ofta med deformations- och spänningstillståndet och är inte kända med samma noggrannhet som i t.ex. en stålkonstruktion. Det skall därför redan från början påpekas att metoden, trots att den är behändig, har sin begränsning. I detta kapitel analyseras fångdammen i Lilla Edet med F.E.-metoden. Deformationer och spänningar bestäms för den länsdumpning och vattensänkning som utfördes i schaktet. Därefter analyseras ett tänkt lastfall som simulerar en höjning av vattenståndet till högsta högvattennivån i älven.

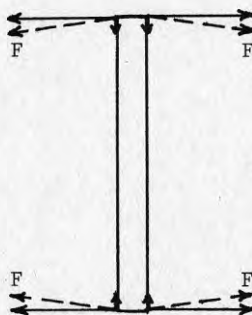
7.1 Idealisering av problemet

Spänningstillståndet i en fångdamm av cellspontar är tredimensionellt även för en långsträckt dammkropp. Detta beror på att dammen är uppbyggd av celler med olika storlek och med stort avstånd från insidan till utsidan.

För att förenkla beräkningen antar man plant deformationstillstånd och på så sätt får man ett tvådimensionellt problem. Inverkan av ringkraften, F , i cellsponten måste dock beaktas genom att krafter kan upptas vinkelrät den tvådimensionella beräkningssektionen, se figur 7.1.



Figur 7.1 a. Fångdamm



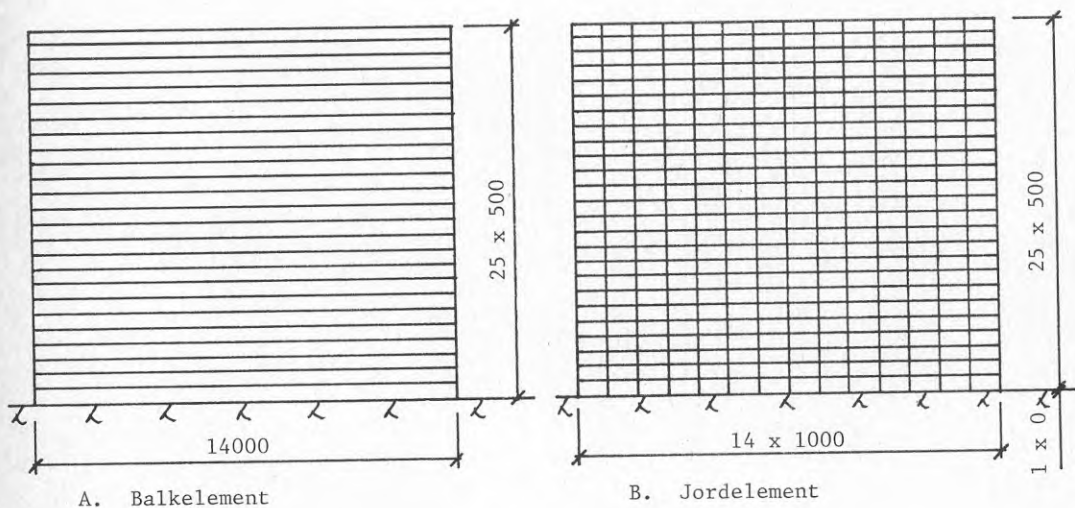
b. Beräkningssektion

Denna idealisering ger damnkroppen en bredd som är större än medelbredden, vilket kan tänkas ge en något styvare konstruktion än den verkliga.

De framräknade deformationerna jämförs med deformationer uppmätta i väggens styvaste tvärsektion, dvs. i mitten av varje huvudcell, vilket skulle berättiga vårt val av beräkningsmodell.

7.2 Elementindelning

Beräkningssnittet uppdelas i två överlagrande elementsystem, vilket redovisas med två elementnät i figur 7.2. Elementnät A visar balkelementen som består av 25 element med arean $14 \times 0,5 \text{ m}^2$. Balkelementen ska motsvara ringkraften i spontväggen. Elementnät B visar jordmaterialet som består av 350 element med arean $1,0 \times 0,5 \text{ m}^2$ samt 14 element med sidorna 1,0 och 0 m. Elementen som skall simulera cellsponten och ringkrafterna är ihopkopplade med jordelementen längs dammens sidor. Endimensionella övergångselement har inlagts mellan fångdammen och bergytan för att dammens glidning på berget skall kunna simuleras.

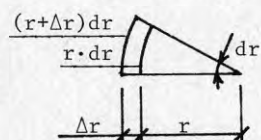


Figur 7.2 Elementindelning av beräkningssnittet.

Bottenytan i modellen motsvarar en helt jämn bergyta. De uppträdande skjuvkrafterna antas helt och hållet tas upp av fyllningsmaterialet, medan spontväggen är helt överksam. Detta är givetvis ej fallet i verkligheten, då sponten sticker ner i ojämnheter i bergytan och bidrar till att hålla cellen på plats. Det är emellertid svårt att få ett mått på storleken av spontens stabiliserande effekt, varför den har förbigåtts i följande behandling.

7.3 Egenskaper hos balkelementen

Balkelementen skall utformas så dess egenskaper ger en spännings- och rörelsesituation som motsvarar cellspontens. Det sker genom att balkelementen ges en fiktiv E-modul enligt nedan.



En radiell rörelse ger en töjning i spontväggen enligt (1).

$$\epsilon_t = \frac{\Delta r}{r} \quad (1)$$

För en viss tryckökning mot väggen fås en lastökning i sponten, ΔF enligt (2)

$$\Delta F = \Delta p_i \cdot r \quad (2)$$

Om spontväggens tjocklek = t medför denna lastökning en viss töjning i väggen enligt Hookes lag (3)

$$\epsilon_t = \frac{\Delta \sigma}{E} = [\Delta \sigma = \frac{\Delta F}{t}] = \frac{\Delta F}{t} \cdot \frac{1}{E} \quad (3)$$

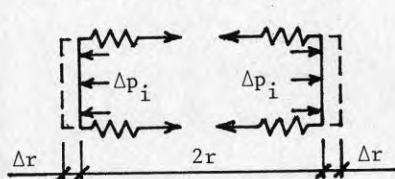
På detta sätt kan ett samband mellan trycket mot väggen och töjningen erhållas (4) av (2) och (3)

$$\epsilon_t = \Delta p_i \cdot \frac{r}{t} \cdot \frac{1}{E} \quad (4)$$

och därefter ett samband mellan radiella rörelser och trycket (5) genom en kombination av (1) och (4)

$$\frac{\Delta r}{r} = \Delta p_i \cdot \frac{r}{t} \cdot \frac{1}{E} \Leftrightarrow \Delta p_i = \frac{\Delta r}{r^2} \cdot t \cdot E \quad (5)$$

Om spontväggen ersätts med ett balkelement skall dess egenskaper vara sådana att en lastökning Δp_i skall ge en förlängning Δr . Dvs. balkens respons på lastökningen skall vara identisk med det i ekv. (5) erhållna sambandet



$$\Delta p_i = \frac{2\Delta r}{2r} \cdot E_b \quad (6)$$

(5) och (6) ger

$$\frac{\Delta r}{r^2} \cdot t \cdot E = \frac{2\Delta r}{2r} \cdot E_b \Leftrightarrow E_b = \frac{t}{r} \cdot E$$

7.4 Egenskaper hos fyllningsmaterialet

För en friktionsjord med friktionsvinkeln ϕ , kan man anta tvärkontraktionstalet ν enligt

$$\nu = \frac{1 - \sin \phi}{2 + \sin \phi}$$

med $\phi = 39,4^\circ$, medelvärde av utförda provningar, erhålles ett ν -värde på 0,27.

Medeldensiteten är beräknad till $1,83 \text{ ton/m}^3$. Den icke-linjära elastiska modellen som används i föreliggande analys bygger på ett hyperboliskt samband mellan töjningar och spänningar och på ett stegvis belastningsförfarande. Under varje laststeg sker beräkningen i ett iterativt förfarande med konstant modul för varje iteration för att till nästa laststeg ändra modulen, dvs. stegvis linjär elastisk materialmodell.

För ett elastiskt material gäller vid plant deformationstillstånd

$$\{\sigma\} = [C] \cdot \{\epsilon\}$$

där

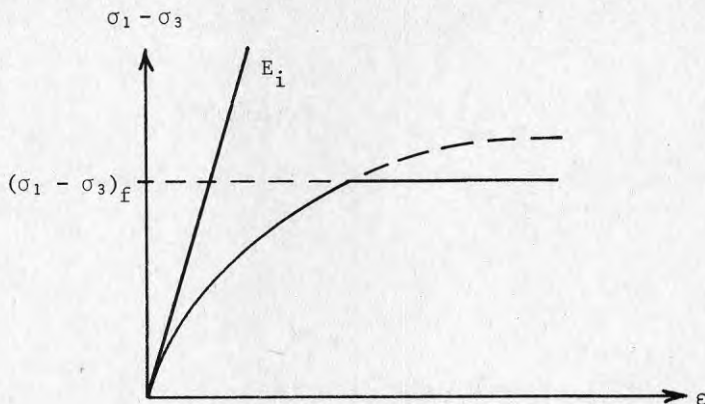
$$[C] = \begin{bmatrix} K_p + G & K_p - G & 0 \\ K_p - G & K_p + G & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \quad (7)$$

då $K_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ (tryckmodul i plana deformationsfallet)

och $G = \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{1}{2}$ (skjuvmodul).

Denna uppdelning i en tryck- och en skjuvmodul medför att jordmaterialet kan fås att upptaga en allsidig belastning även efter att skjuvbrott har inträffat genom att låta $G \rightarrow 0$ samtidigt som K_p har konstant värde.

Arbetskurvan för skjuvspänning-töjning för jordmaterial kan i de flesta fall med god approximation ersättas med en hyperbel upp till brott, Kondor 1963, se figur 7.3. Vanligtvis kan även Mohr-Coulombs brottkriterium för skjuvhållfasthet användas.



Figur 7.3 Hyperbolisk modell för icke-linjärt material.

Tangentmodulen för hyperbeln kan tecknas:

$$E_t = E_i \cdot (1 - R_f \cdot S)^2$$

där S är en relativ spänningsnivå och R_f är en koefficient som tar hänsyn till att brotthållfastheten, $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$, avviker från hyperbelns asymptotvärde och E_i är hyperbelns initiallutning.

Initialmodulen har man för friktionsmaterial funnit, Janbu 1963, att den varierar med omgivande spänning enligt

$$E_i = k_m \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a}\right)^n$$

$$p_a = \text{jämförelsespänning (100 kPa)}$$

$$k_m = \text{modultal}$$

$$n = \text{spänningsexponent}$$

Genom att omskriva sambandet mellan spänningar och töjningar i en tryck- och en skjuvmodul enligt ekv. (7) erhålles följande

$$G_t = \frac{1}{2(1+\nu)} E_i (1 - R_f \cdot S)^2$$

och

$$K_p = \frac{1}{2(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot E_i$$

Baserat på graderingskoefficient, densitet och friktionsvinkel kan spänningsexponenten n och ödometermodulen beräknas enligt Andreasson, 1973. Därefter kan modultalet k_m beräknas genom samband mellan tryck- och ödometermodulen. Följande värden erhöles

$$n = 0,55$$

$$k_m = 1486,7 \text{ då } R_f \text{ är satt till } 0,85.$$

Viljordtrycket är beräknat enligt sambandet $K_0 = 1 - \sin \phi$, en approximation föreslagen av Jaky, 1948.

K_0 blev i detta fall 0,37.

7.5 Egenskaper hos övergångselementen

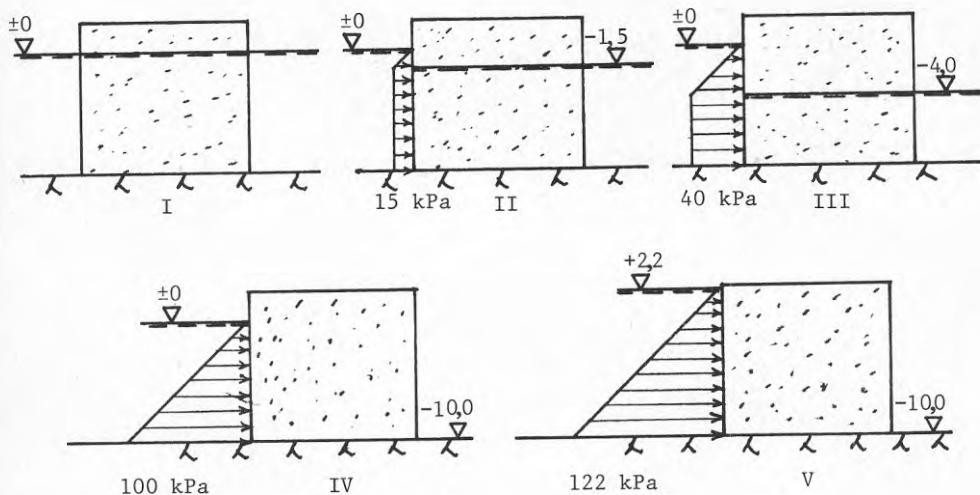
Spänningsexponenten, n , friktionsvinkeln, ϕ , viljordtryckskoeficienten, K_0 , residualskjuvstyvheden, R_f , samt tvärkontraktions-talet, ν , är desamma som hos fyllningsmaterialet.

Initialstyvheden K_{sj} varierar för friktionsmaterial exponentiellt med normalspänningen, σ_n , enligt $K_{sj} = K_j \cdot \gamma_w \left(\frac{\sigma_n}{p_a}\right)^n$

Enligt Finite Element Analyses Of Retaining Wall Behavior av G. Wayne Clough och James M. Duncan kan man sätta K_j till 10 660 omräknat till SI-enheter.

7.6 Elementen sammankopplas

När egenskaperna hos de olika elementen beräknats, sätts de två olika elementnäten ihop till ett beräkningsnitt och ett initialtillstånd beräknas innan belastningen, en vattenavsänkning på ena sidan, påförs. Från initialtillståndet, 10 m vatten på båda sidorna, vilket motsvarar nivån ± 0 , avsänks vattennivån på ena sidan i tur och ordning till nivåerna -1,5, -4,0 m resp. -10 m för att sedan öka vattennivån på andra sidan till +2,2 m vilket motsvarar högsta högvattenyta, se figur 7.4.



Figur 7.4 I, Initialtillståndet, II-IV, avsänknigen samt V höjning av vattennivån på andra sidan från ± 0 till +2,2 m.

Av figur 7.4 framgår att den antagna variationen i porvatten-trycket inne i spontcellen baserades på den i fält observerade avsänkningen.

7.7 Resultat

Nedan redovisas teoretiska deformationer, ändring av spänningsnivåer, huvudspänningar och trycket mot bergytan.

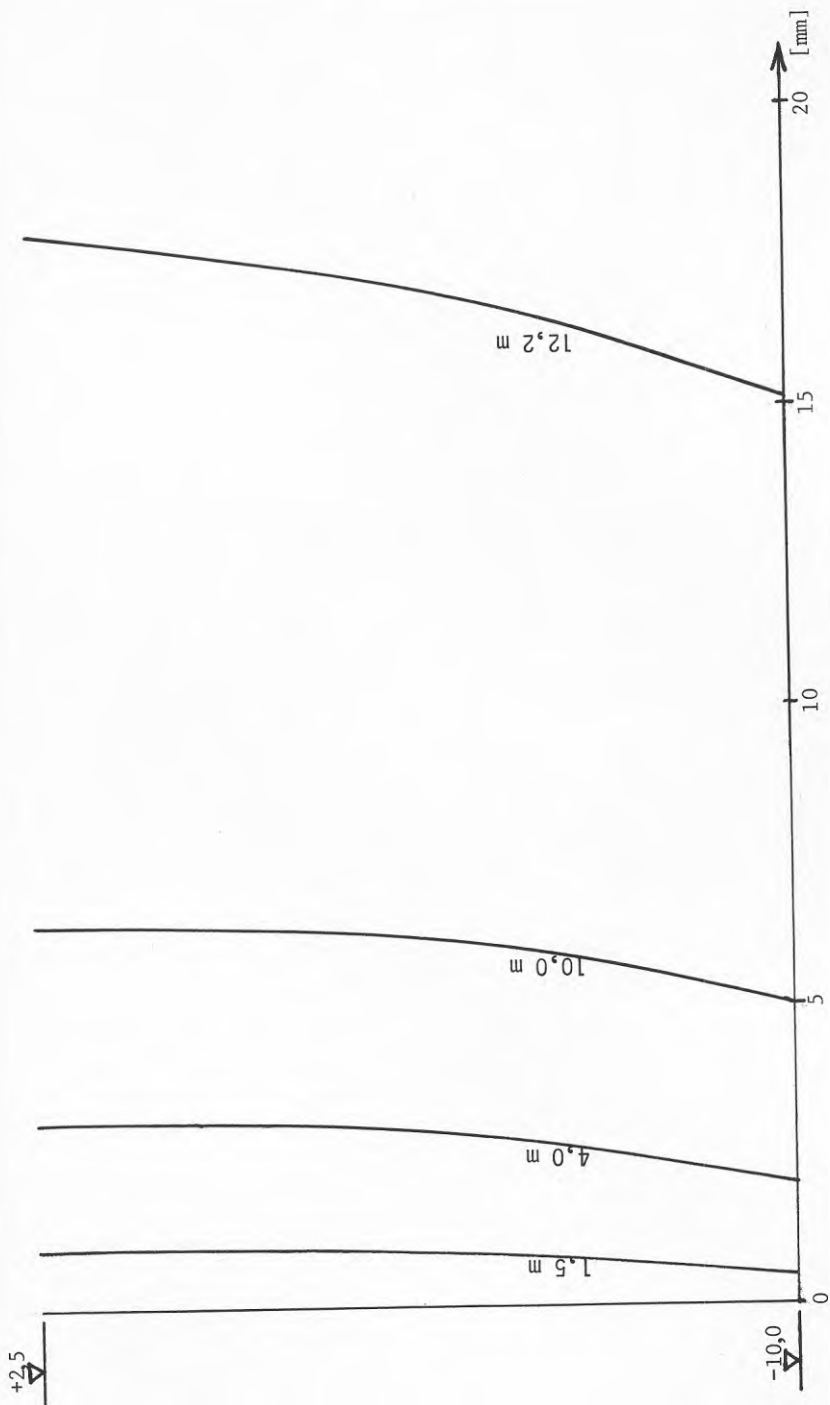
Deformationerna i spontväggarna, figur 7.5 och 7.6 utgörs till större delen av glidning mot bergytan vilket påminner om de uppmätta värdena, se avsnitt 6.1. De beräknade deformationerna blev mindre än de uppmätta, i storleksordningen 6 istället för 10 mm. Figur 7.7 visar hur fyllningsmaterialet rör sig mitt i huvudcellen, vilket också liknar de uppmätta rörelserna. En vattennivåskillnad på 12,2 m, en ökning av totala vattentrycket med ungefär 50 % i jämförelse med 10 m, medför en tre gånger så stor deformation vilket beror på de icke-linjära deformationsegenskaperna. Det framgår av figur 7.8 att cellen trycks ihop något, vilket verkar vara realistiskt.

Spänningsnivån i fyllningsmaterialet avser aktuell spänning i förhållande till brottspänning. Av figur 7.9 framgår ändringen av spänningsnivån vid vattennivåskillnad på 1,5 m, 4,0 m, 10,0 m resp. 12,2 m. Den "lokala" lägsta brottsäkerheten tillika högsta spänningsnivån uppträder i området mot den avsänkta sidan och mot bergytan.

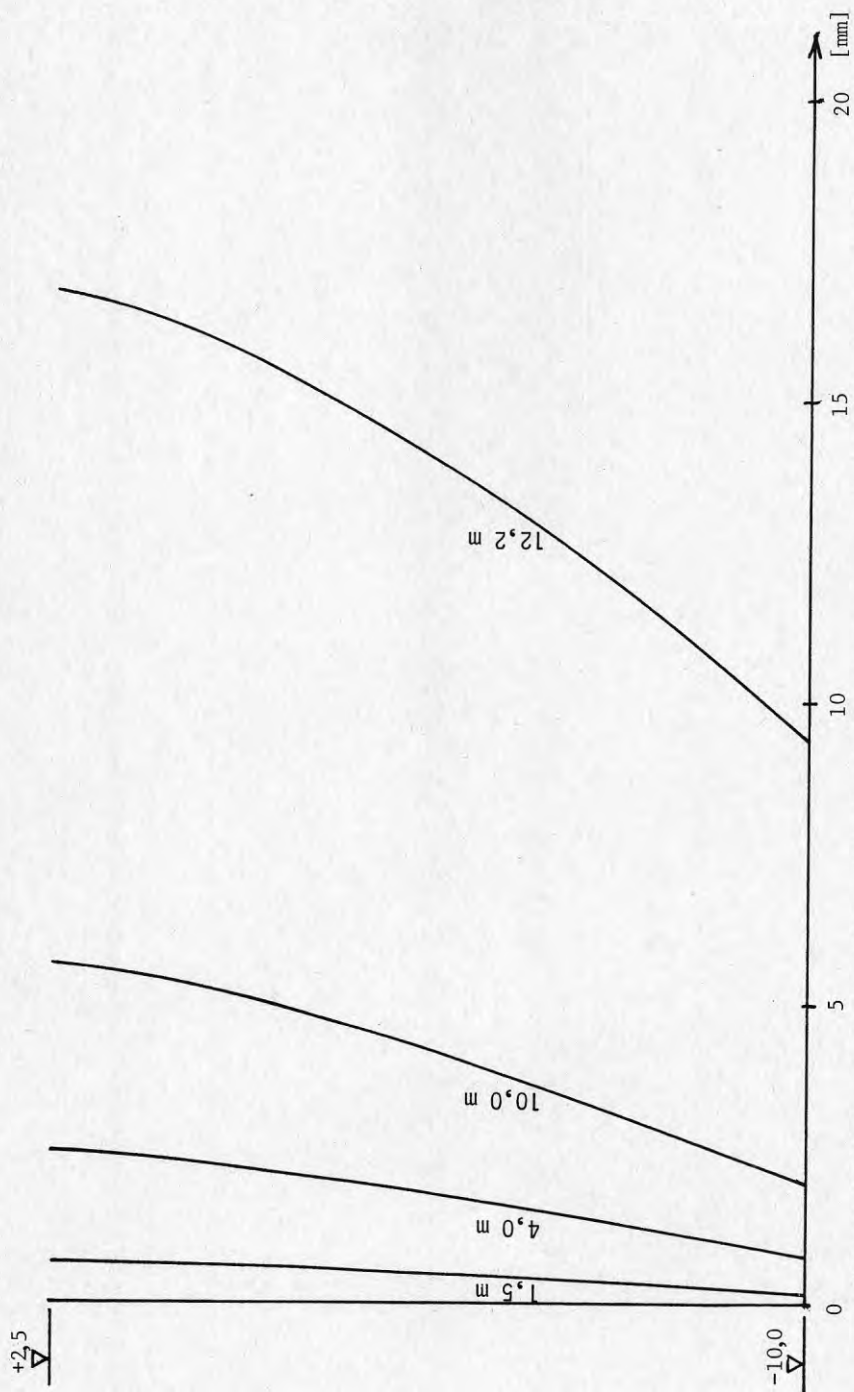
Med huvudspänningar menas den största respektive minsta normalspänningen i en viss punkt. Deras storlek och riktning vid de olika vattennivåerna visas i figurerna 7.10 - 7.12 där även trycket mot bergytan redovisas.

Som framgår av figurerna lutar den största huvudspänningen i så gott som varje punkt i riktning mot vattentrycket, vilket tyder på att ett horisontellt jordtrycktillskott mobiliseras i fyllningsmaterialet. Detta tryck synes öka ju närmare älvsidan punkterna är belägna, vilket visar att större delen av vattentrycket upptas där.

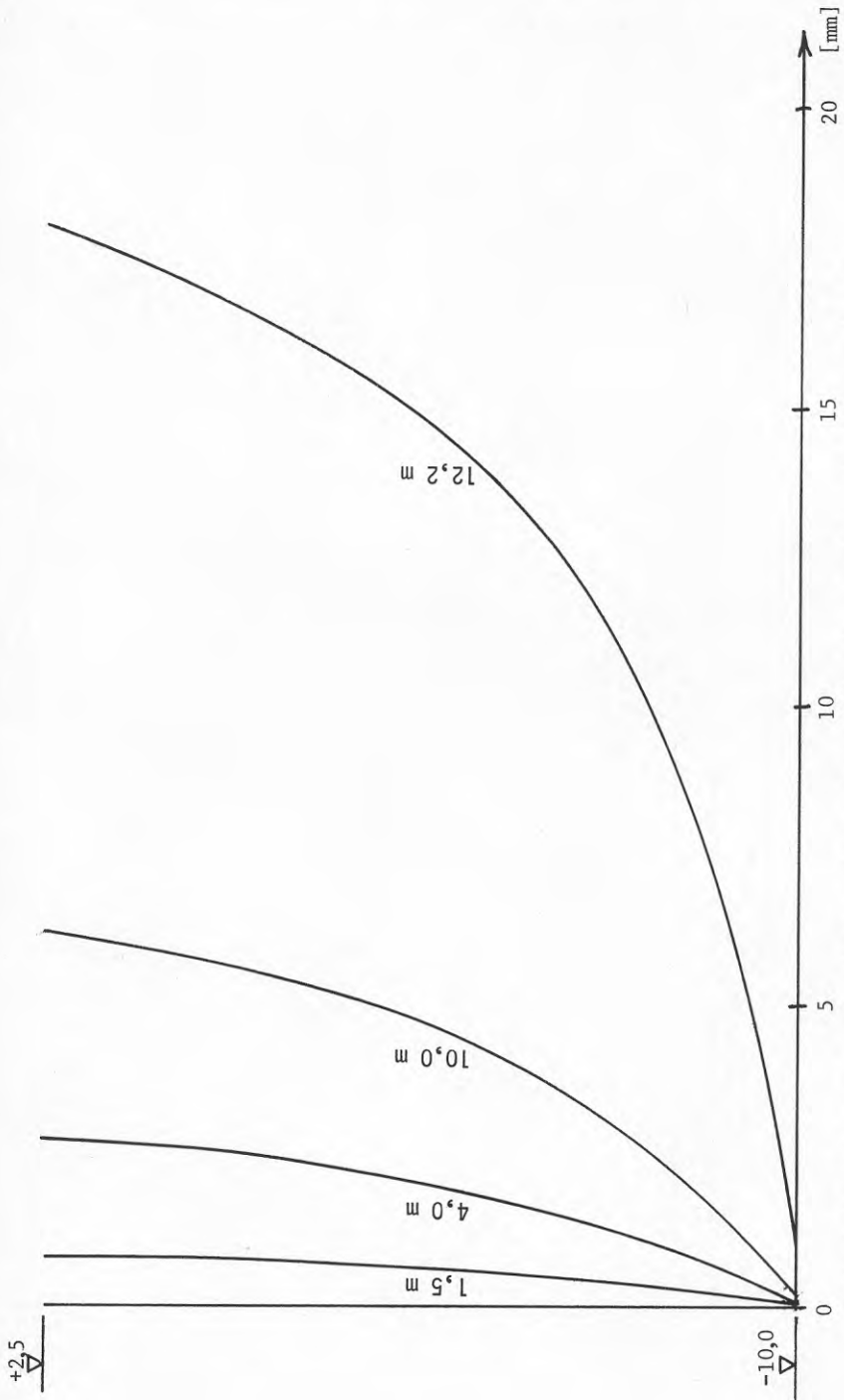
Jordtrycket vertikalt mot bergytan är beräknat till i storleksordningen 230 kPa.



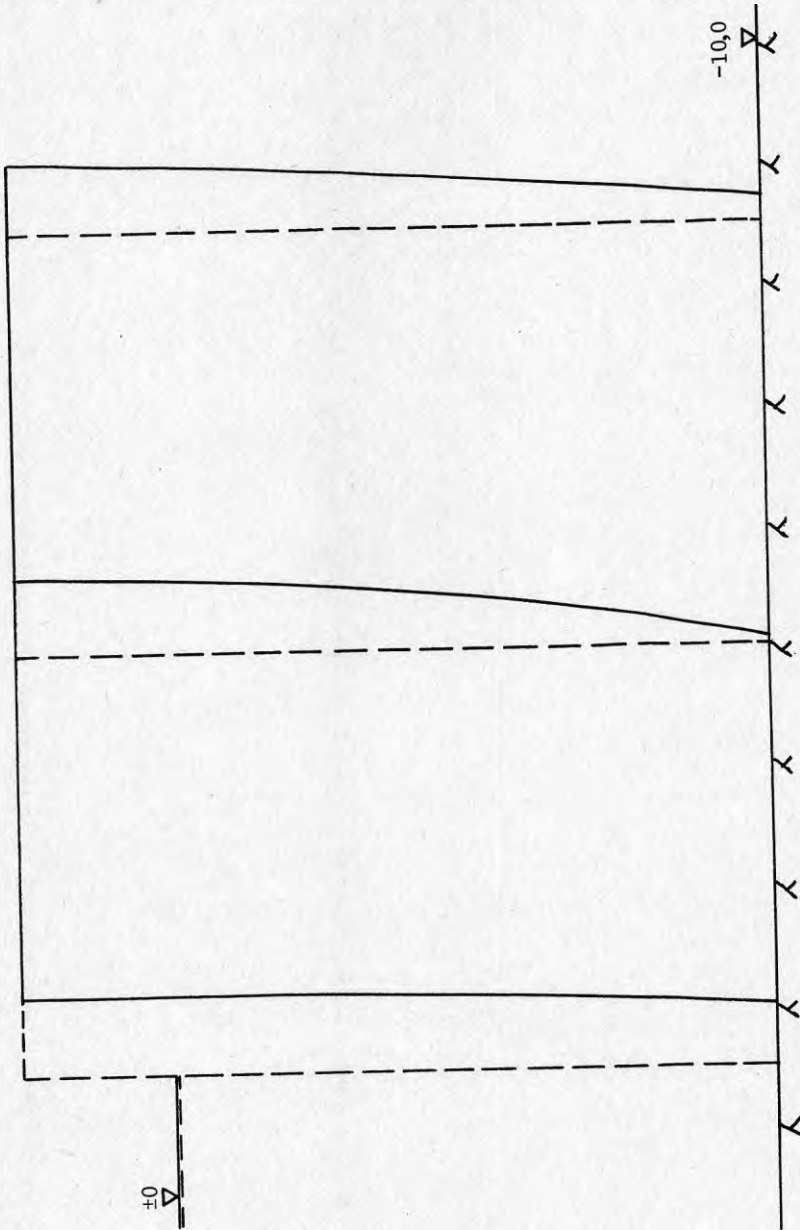
Figur 7.5 Kurvorna visar deformationer i mm i spontväggen mot älvsidan vid 1,5, 4,0, 10,0 resp. 12,2 m vattennivåskillnad



Figur 7.6 Kurvorna visar deformationerna i mm i spontväggen mot den avsänkta sidan vid 1,5, 4,0, 10,0 resp. 12,2 m vattennivåskillnad.

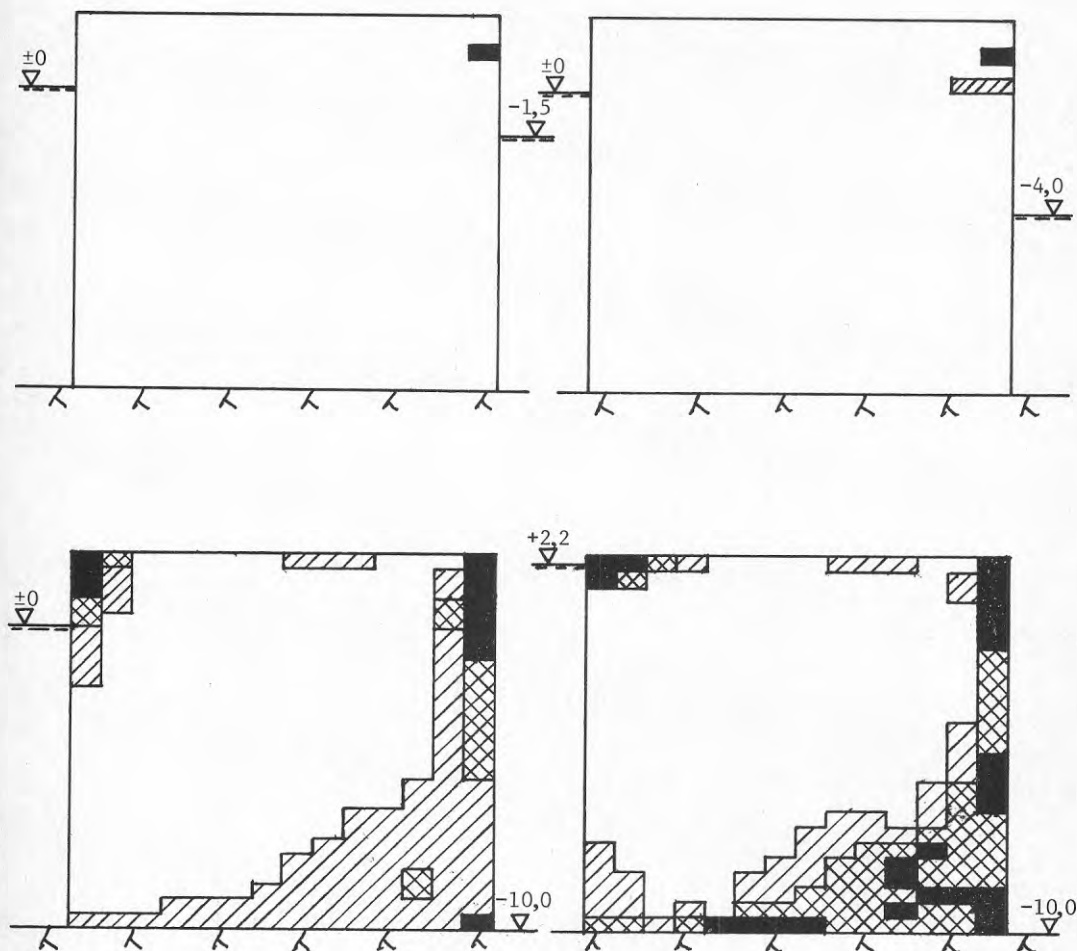


Figur 7.7 Kurvorna visar deformationer i mm mitt i huvudcellen vid 1,5, 4,0, 10,0 resp. 12,2 m vattennivåskillnad



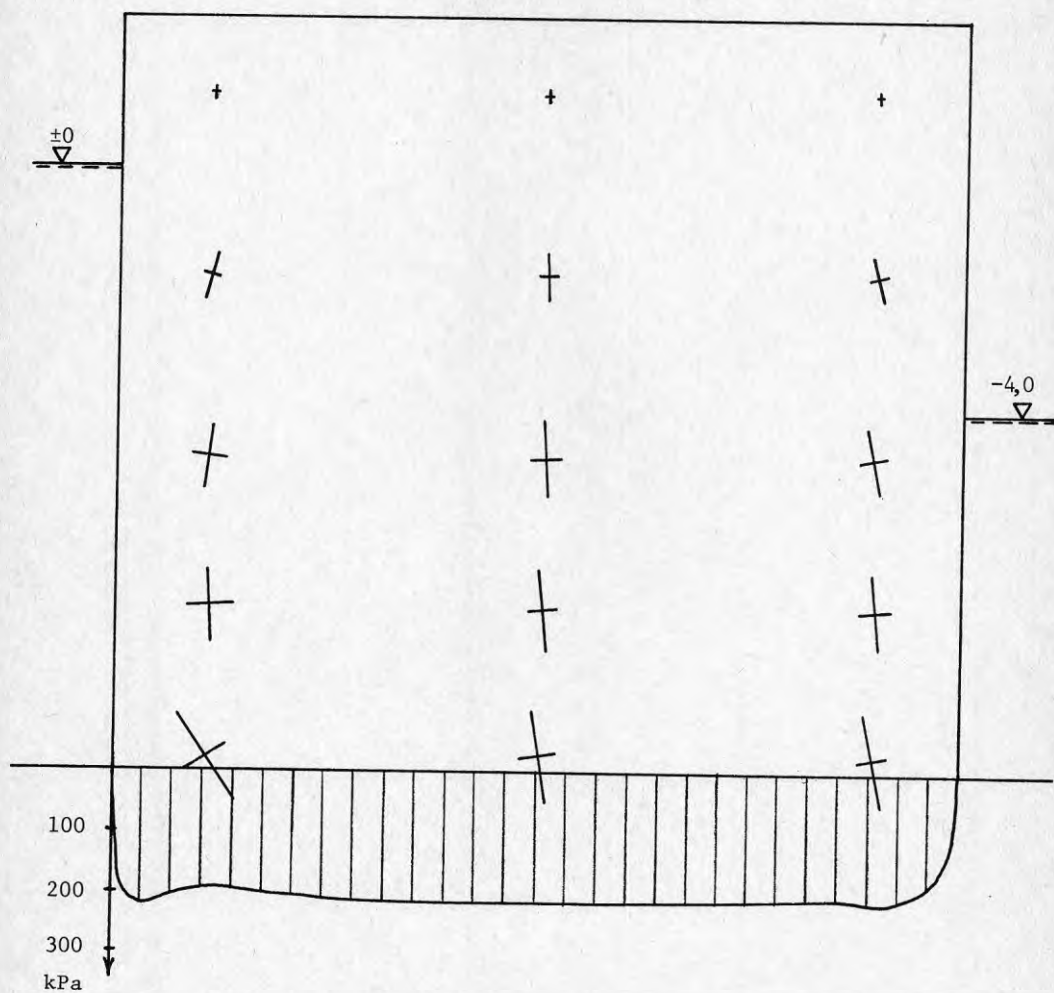
Figur 7.8 Deformationer vid total avsänkning och normal vattennivå i älven.

Skala: Huvudcell, 1:100
Deformationer, 2:1

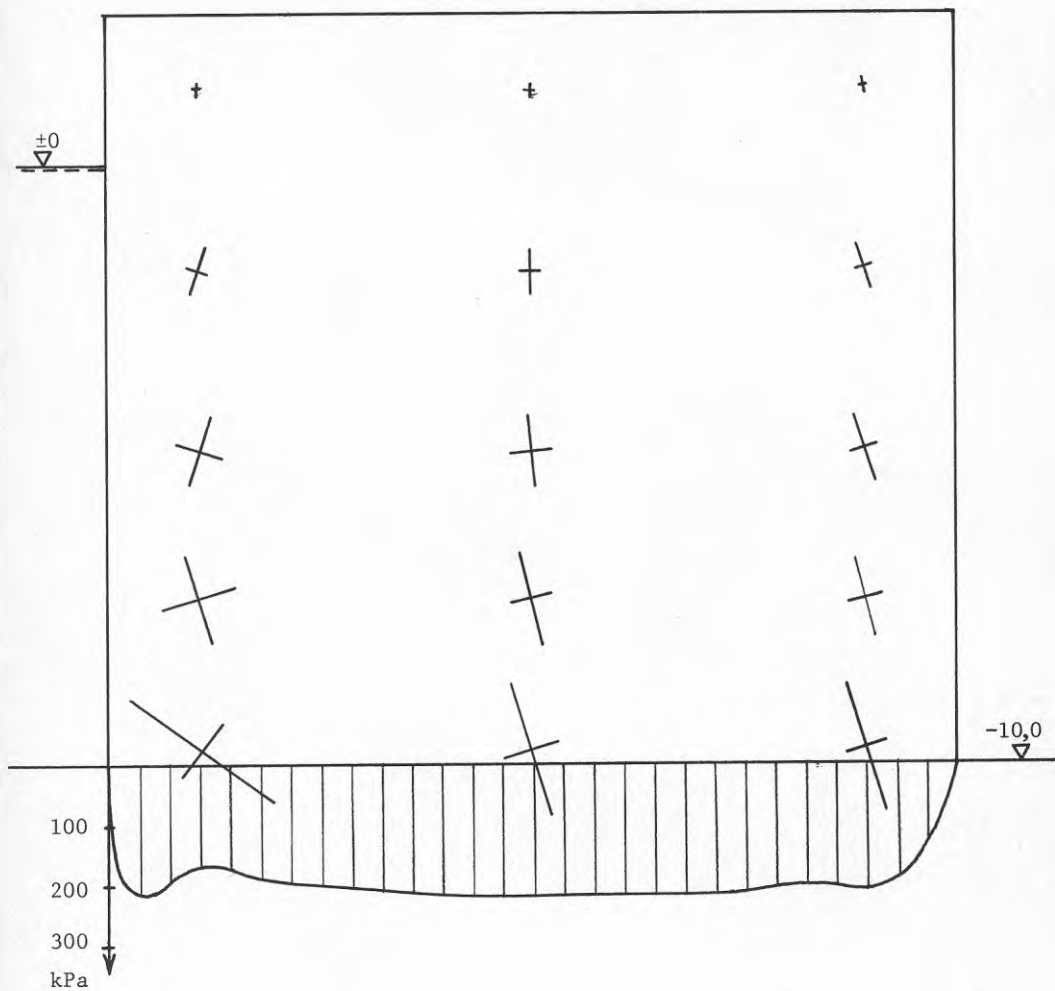


Figur 7.9 Ändring av spänningsnivån ($\frac{\sigma}{\sigma_f}$) vid vattennivåskillnad på 1,5, 4,0, 10,0 resp. 12,2 m.

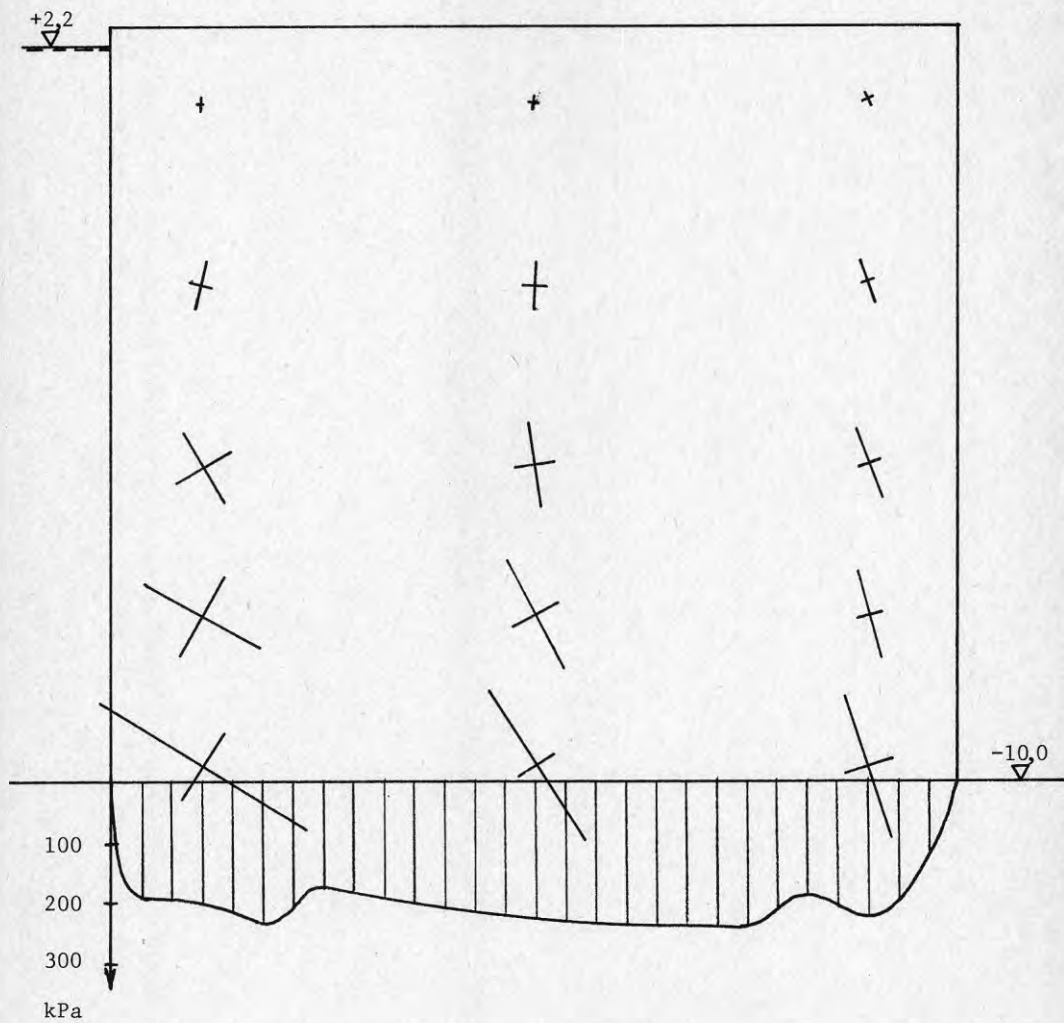
- $<0,3$
- $0,3 - 0,6$
- $0,6 - 1,0$
- $>1,0$



Figur 7.10 Vattenavsänkning till -4,0. Av figuren framgår huvudspänningarnas storlek och riktning samt trycket mot bergytan. Skala: 0 100 500 kPa



Figur 7.11 Vattenavsänkning till -10,0. Av figuren framgår huvudspänningarnas storlek och riktning samt trycket mot bergytan. Skala: 0 100 500 kPa



Figur 7.12 Vattennivåskillnad 12,2 m. Av figuren framgår huvudspänningarnas storlek och riktning samt trycket mot bergytan. Skala: 0 100 500 kPa



8. SLUTSATSER

De väsentligaste slutsatserna som kan dras av studier och undersökningar i kap 2 - 7 redovisas nedan.

8.1 Projektering

För genomförande av projekteringen av en fångdammskonstruktion kan man sammanfattningsvis konstatera att det är nödvändigt att göra förundersökningar i form av

- geotekniska undersökningar i dammläget för bestämning av undergrundens egenskaper beträffande bärighet, sättningar, schaktbarhet m m
- detaljerade sonderingar i slutligt fastställt spontläge för bedömning av spontlängder
- hydrologiska mätningar för att ge kännedom om karakteristiska vattenstånd och maximala vattenhastigheter
- undersökning av strömningsförhållanden genom modellförsök kan vara värdefulla för att klargöra hur bland annat vattenhastigheter och strömningsförhållanden förändras vid olika utbyggnadsetapper

8.2 Entreprenadarbeten

8.2.1 Muddring

Man kan otvivelaktigt konstatera att det var uppenbara fördelar med att muddra bort lösa jordlager på botten i fångdammläget före spontslagningen. Alternativet hade varit att schakta och mammutpumpa invändigt i cellerna medan mallen fortfarande stod kvar. Detta skulle ha blivit mycket tidsödande med hänsyn till svårigheterna i cellerna när mallen fortfarande stod kvar. Dessutom hade spontningen tagit längre tid eftersom sponten då skulle ha drivits genom jordlagret på botten.

8.2.2 Spontning

För spontningen av huvudcellerna erfordras en flytande mall med stöbben samt styrningar för sponten. Mallens diameter skall vara ca 0,2 m mindre än teoretisk spontadie för att dels ge tillräckligt utrymme vid spontsättning, dels förhindra mallen från att nypa fast mot cellväggen vid upplyftningen.

Sponten lyftes i en fästpunkt från upplaget på pontonen, detta går enligt amerikansk erfarenhet bra för spontlängder upp till ca 21 m.

Spontsättningen kring mallen utfördes i två riktningar med utgångspunkt från en startplanka som noggrant fixerats vid mallen i vertikalt läge för att underlätta ihopslutningen av spontningen med sista spontplankan, vars lås smordes med fett.

I strömmande vatten är det en fördel om sponten sätts i ström-
mens riktning, så att sponten trycks mot mallen i stället för
att driva från mallen. Spontsättningen kunde i Lilla Edet ut-
föras vid en maximal vattenhastighet av 1,4 m/s utan att några
olägenheter uppstod.

Spontsättningen i mellancellerna kunde utföras med hjälp av en
enklare mall av balkprofiler som lades upp på de omgivande
huvudcellerna. Erfarenheten visar att man bör sätta minst två
spontplankor i mellancellen i vardera anslutningsplankan till
huvudcellen innan huvudcellen fylls till full höjd. Detta för
att förhindra böjning av anslutningsplankan och därmed försvåra
spontsättning i mellancellen. Enligt tillverkaren skall 500 mm-
spont kunna användas ner till 2100 mm radie. Vissa svårigheter
uppstod vid spontsättningen i mellancellerna trots att radien
var 3350 mm. Denna radie ger en vinkeländring av $8,5^\circ$ i låsen
för 500 mm-spont, men möjlig vinkeländring i låsen varierade så
mycket att vissa spontplankor ej klarade vinkeländringen $8,5^\circ$.
Det skulle vara en fördel att använda 400 mm-spont vid små ra-
dier för att få fler låspunkter att ta upp vinkeländringen i.

8.2.3 Fyllningsarbeten

Beträffande kapaciteten vid fyllningsarbetena kan man se skill-
naden vid fyllning av första cellen och de övriga beroende på
att olika metoder använts.

Första cellen fylldes med grus som transporterades med lastbil
från grustaget. Gruset tippades i en betongficka på land. Med
betongbask och kran lyftes gruset över till cellen, kapaciteten
blev då ca $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vid fyllning av de övriga huvudcellerna blev kapaciteten
ca $70 \text{ m}^3/\text{h}$. Gruset tippades då på den närmast föregående
cellen varifrån en grävmaskin lyfte upp materialet på ett trans-
portband till cellen.

Mellancellerna fylldes genom att gruset tippades direkt från
lastbilen ned i cellen.

En beräkning av fyllningens densitet i mellanceller respektive
huvudceller visar att densiteten är ca 2 % lägre i mellan-
cellerna. Skillnaden kan bero på att en viss luftmängd blir
kvar i materialet vid tippning direkt från lastbil till cellen,
medan man får en homogenare fyllning när materialet sprids ut
med bandtransportör.

8.2.4 Packning

Vid packningsförsöket kunde konstateras att fyllningen sjönk
20 - 30 cm dvs 2-3 % av fyllningshöjden. Trots denna packning
kan man inte se någon skillnad mellan cellernas uppmätta rörelser
vid avsänkningen i en packad och icke packad cell. Således synes
tillräcklig lagringstäthet erhållas vid utfyllnad i vatten för
att deformationerna skall hållas på en acceptabel nivå.

Beträffande kapacitet visar vibreringen i cell 5 att man vid djupvibrering till ca 11 m djup kan räkna med en kapacitet av 4-6 nedvibreringar per timme.

8.3 Kontroll

Kontrollen vid bygget bestod i att man bland annat kontrollerade spont, bottenmaterial, fyllningsmaterial, inläckning i celler, vattenförlust i berggrunden och cellernas rörelser vid avsänkningen. Nedan behandlas resultaten från kontroll av inläckning och rörelser.

8.3.1 Inläckning

Inläckningen i cellerna kontrollerades allteftersom de färdigställda, varvid vattennivån i cellerna avsänktes genom pumpning i pumpbrunnar. Genom samtidig observation i vattenståndsrör kunde eventuell inläckning lokaliseras. Läckage tätades genom injektering av jorden kring spontens underkant, man kunde således konstatera att inläckningen genom spontläsen är närmast obefintlig.

8.3.2 Rörelser

Cellernas rörelser kontrollerades i samband med läns-pumpningen i fångdammen, varvid cellerna utsattes för ensidigt vattentryck från älvsidan.

Utförda inklinometermätningar visar att de maximala sidorörelserna vid cellernas överkant uppgick till 15 å 20 mm, se figur 6.2. Inmätningarna med teodolit gav som resultat ca 10 mm sidorörelser. Mätresultaten visar således små deformationer, som utan problem har kunnat tas upp i anslutningskonstruktionen mot den befintliga kraftstationen.

8.4 Beräkning av deformationer med F E M

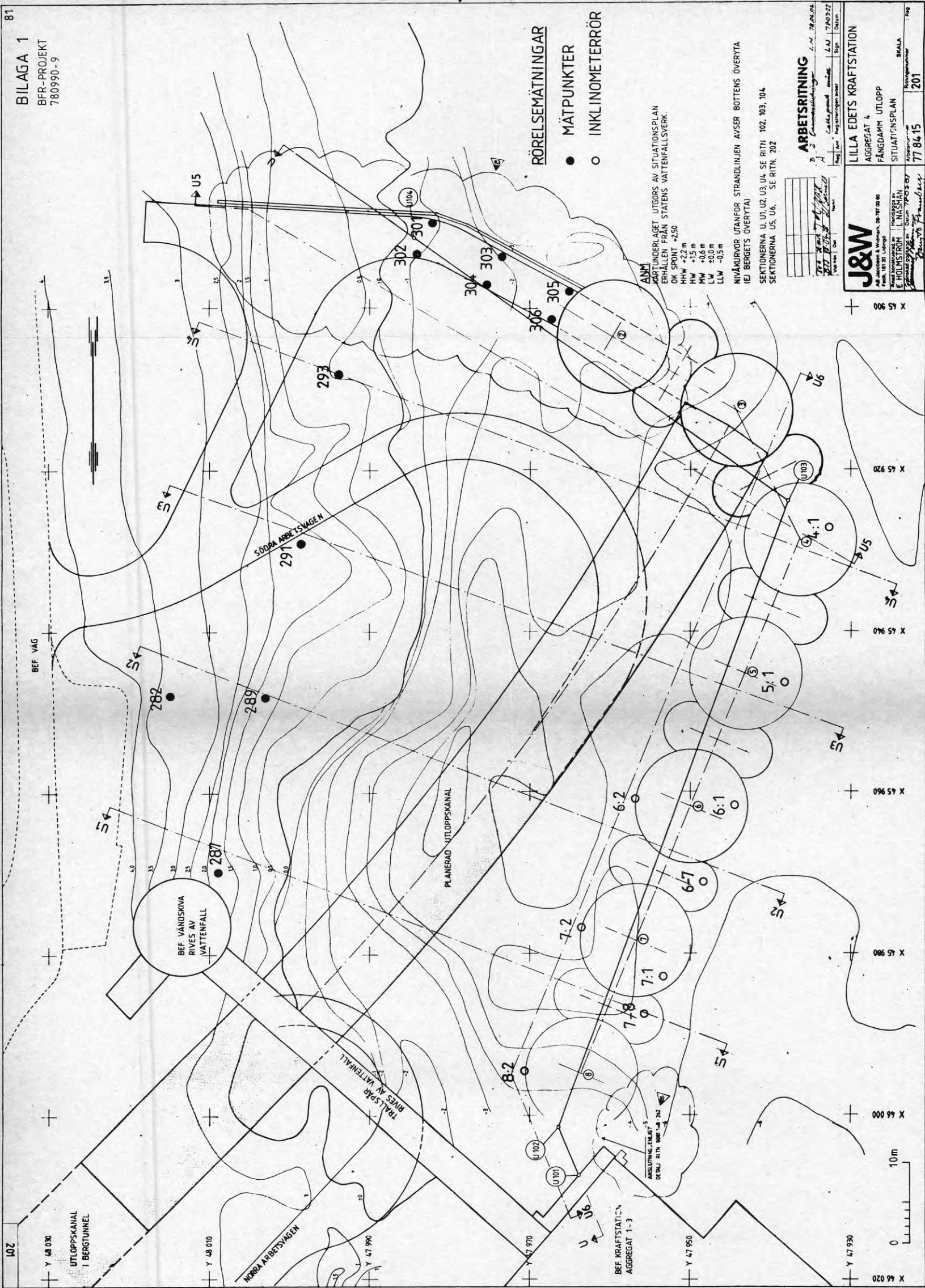
För att få en jämförelse med uppmätta rörelser gjordes en teoretisk beräkning av cellspontkonstruktionens rörelser med dator enligt finita element-metoden (F E M-analys). F E M-analysen utförs i fyra steg. Först görs en idealisering av problemet, därefter en elementindelning av konstruktionen. Sedan analyseras varje element i en elementanalys varefter samtliga element sammankopplas genom villkor vid elementränderna till ett system i en systemanalys.

Den använda beräkningsmodellen gav som resultat en teoretisk deformationsbild som påminner om den verkliga. De beräknade deformationerna blir mindre än de uppmätta, ca 6 mm i stället för ca 10 mm.



BILAGA 1

BFR-PROJEKT
780990-9



RÖRESEMÄTNINGAR

- MÄTPUNKTER
- INKLINOMETERRÖR

ANM
KARTUNDERLAGET UTGÖRS AV SITUATIONSPLAN
ERHÅLLEN FRÅN STATENS VATTENFALLSVERK.
OK SPONT +2.50
HHW +2.2 m
HW +1.5 m
MW +0.6 m
LW ±0.0 m
LLW -0.5 m

NIVÅKURVOR UTANFÖR STRANDLINJEN AVSER BOTTENS ÖVERTYTA
(EJ BERGETS ÖVERTYTA)
SEKTIONERNA U1, U2, U3, U4, SE RITH 102, 103, 104
SEKTIONERNA U5, U6, SE RITH 202

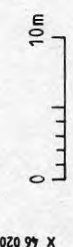
ARBETSRTNING

| | | | |
|----------|-------------------------|------|--------|
| Reg. Nr. | Arbetsritningens nummer | Blad | Datum |
| 778 | 780990-9 | LJU | 780322 |
| 779 | 780990-9 | LJU | 780322 |
| 780 | 780990-9 | LJU | 780322 |
| 781 | 780990-9 | LJU | 780322 |

J&W

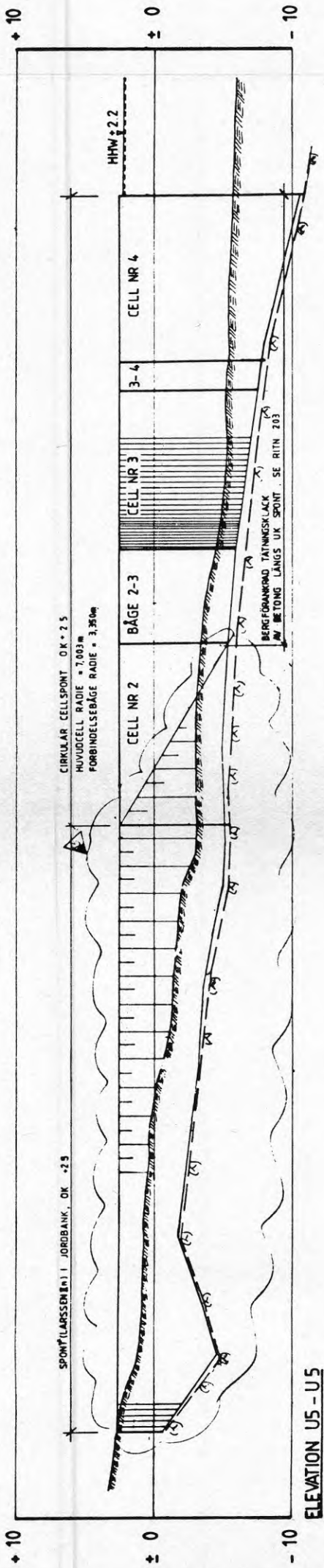
LILLA EDETS KRAFTSTATION
AGGREGAT 4
FÄNGDAMM UTLOPP
SITUATIONSPLAN
Kontrollerad av: E. HOLMSTRÖM
Datum: 780327
Kontrollerad av: J. NÅSÅN
Datum: 780327

Skala: 1:1000
77 84 15
201





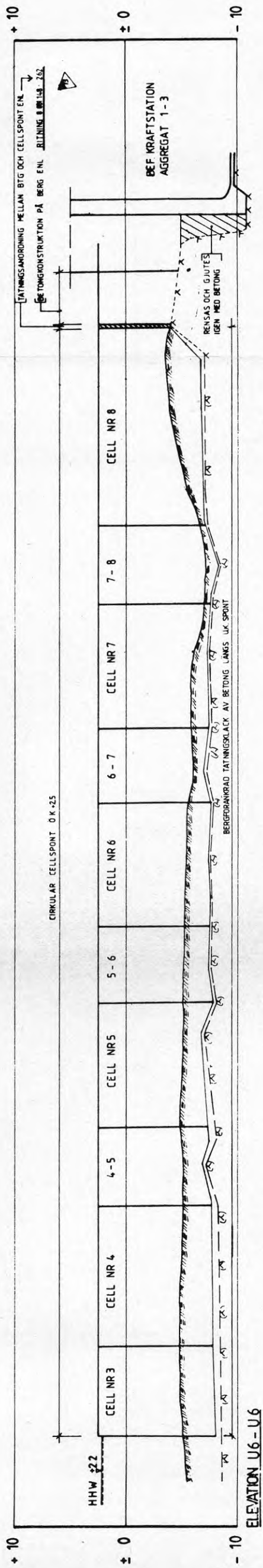
BILAGA 2

BFR - PROJEKT
78 09 90-9

ELEVATION U5 - U6

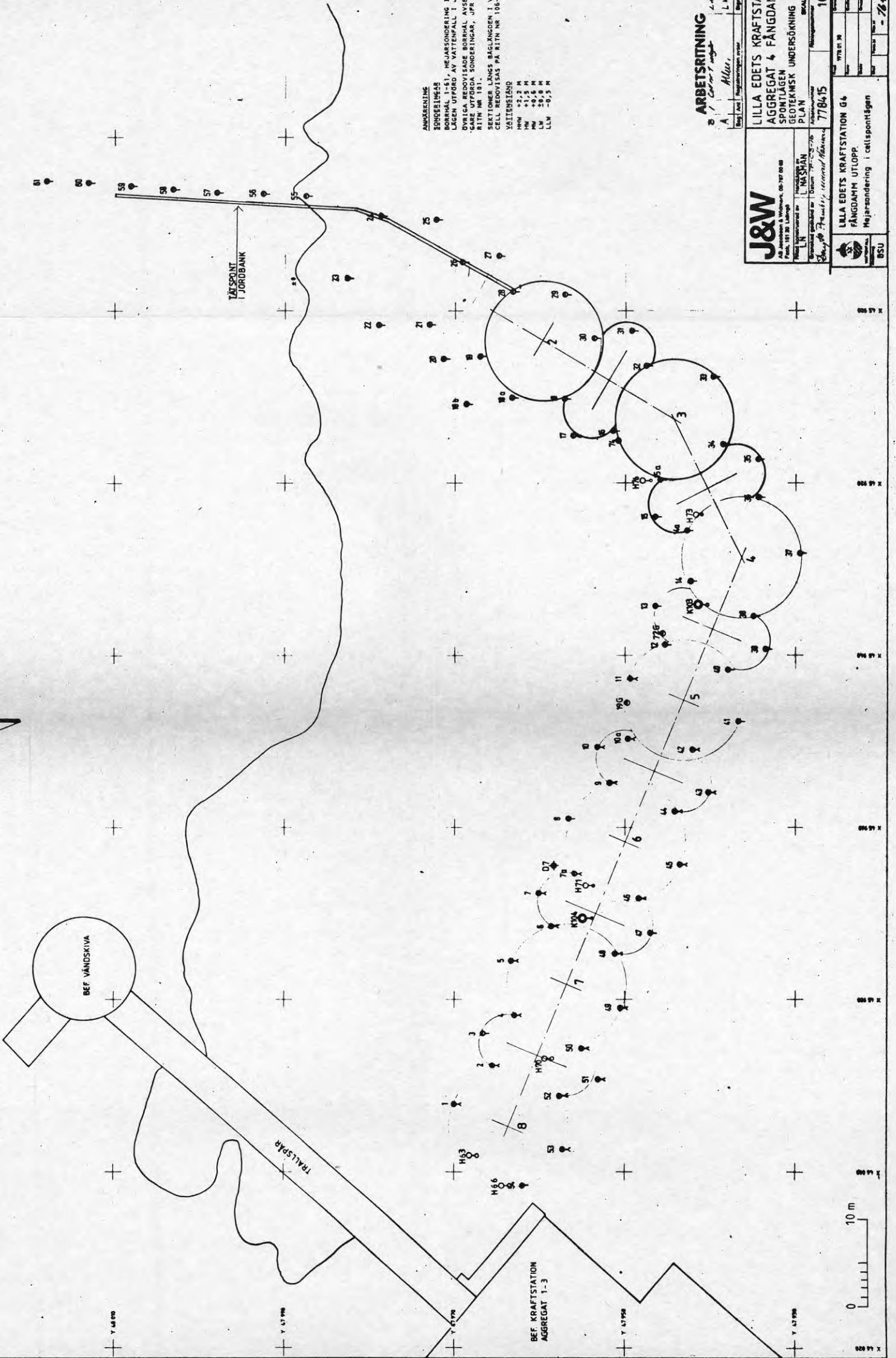
ANM.

SEKTIONSLAGEN SE SITUATIONSPLAN RITN NR 201. BOTTEN- OCH BERGNIVÅER ÄR MYCKET UNGEFÄRLIGA. BETRÄFFANDE DETALJERAD REDOVISNING AV BOTTENFÖRHÅLLANDENA I SPONTLÄGENA, SE RITN NR 105 - 109



ELEVATION U6 - U6

LILLA EDET KRAFTSTATION
AGGREGAT 4 UTLOPP
FÄNGDAMM
ELEVATION U5-U5, U6-U6

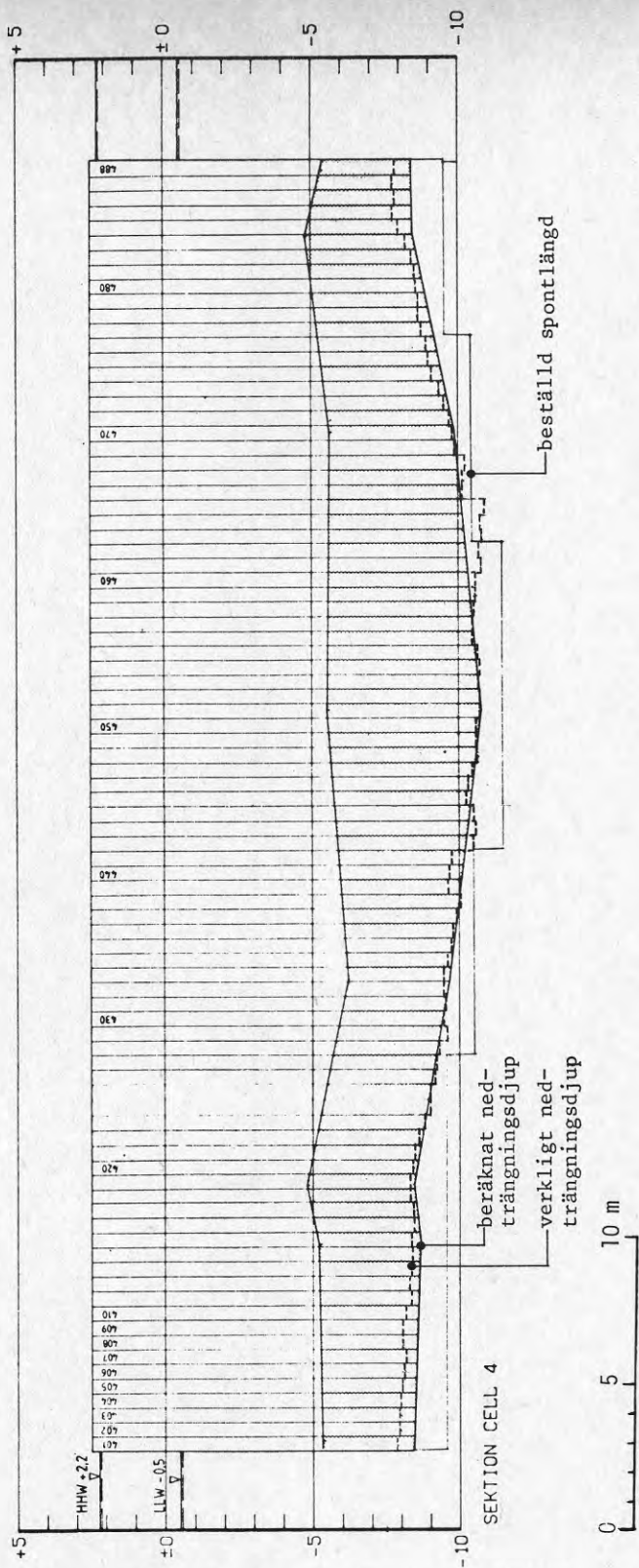


ÄNDRINGENS
SÖRDELNING
BORRHÅL 1-51, MEJÄRSÖNDERING I SPONT-
LAGEN UTFÖRD AV VATTENFALL I JAN -78.
ÖVRIGA REDOVISADE BORRHÅL AVSER TIDIG-
ARE UTFÖRDA SÖNDERINGAR, JFR AVEN
RITN NR 101 101 102, 103, 104, 105, 106, 107,
108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116,
117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124,
125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132,
133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140,
141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148,
149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156,
157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164,
165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172,
173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180,
181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188,
189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196,
197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204,
205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212,
213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220,
221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228,
229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236,
237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244,
245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252,
253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260,
261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268,
269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276,
277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284,
285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292,
293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300,
301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308,
309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316,
317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324,
325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332,
333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340,
341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348,
349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356,
357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364,
365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372,
373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380,
381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388,
389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396,
397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404,
405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412,
413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420,
421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428,
429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436,
437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444,
445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452,
453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460,
461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468,
469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476,
477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484,
485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492,
493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500,
501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508,
509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516,
517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524,
525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532,
533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540,
541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548,
549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556,
557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564,
565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572,
573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580,
581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588,
589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596,
597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604,
605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612,
613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620,
621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628,
629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636,
637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644,
645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652,
653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660,
661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668,
669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676,
677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684,
685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692,
693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700,
701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708,
709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716,
717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724,
725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732,
733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740,
741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748,
749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756,
757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764,
765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772,
773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780,
781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788,
789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796,
797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804,
805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812,
813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820,
821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828,
829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836,
837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844,
845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852,
853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860,
861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868,
869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876,
877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884,
885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892,
893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900,
901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908,
909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916,
917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924,
925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932,
933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940,
941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948,
949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956,
957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964,
965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972,
973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980,
981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988,
989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996,
997, 998, 999, 1000

ARBETSRTNING

2 / *Carroll* 28.02.06
A *Muller* LN 78-02-23
Lag / Adress / Projektnummer / Datum

| | | | |
|--|--|--------|-----|
| J&W Allmänna & Wärdet, 08-797 00 00 Fack, 101 20 Luleå Svealandsgatan 21, 971 22 Luleå Svealandsgatan 21, 971 22 Luleå Svealandsgatan 21, 971 22 Luleå | LILLA EDETS KRAFTSTATION AGGREGAT 4 FANGDAMM SPONTLAGEN GEOTEKNISK UNDERSÖKNING PLAN | 778415 | 105 |
| | LILLA EDETS KRAFTSTATION G4 FANGDAMM UTLOPP Mejersöndering i cellospontlagen | 778415 | 105 |
| BSU | | | |



BILAGA 4

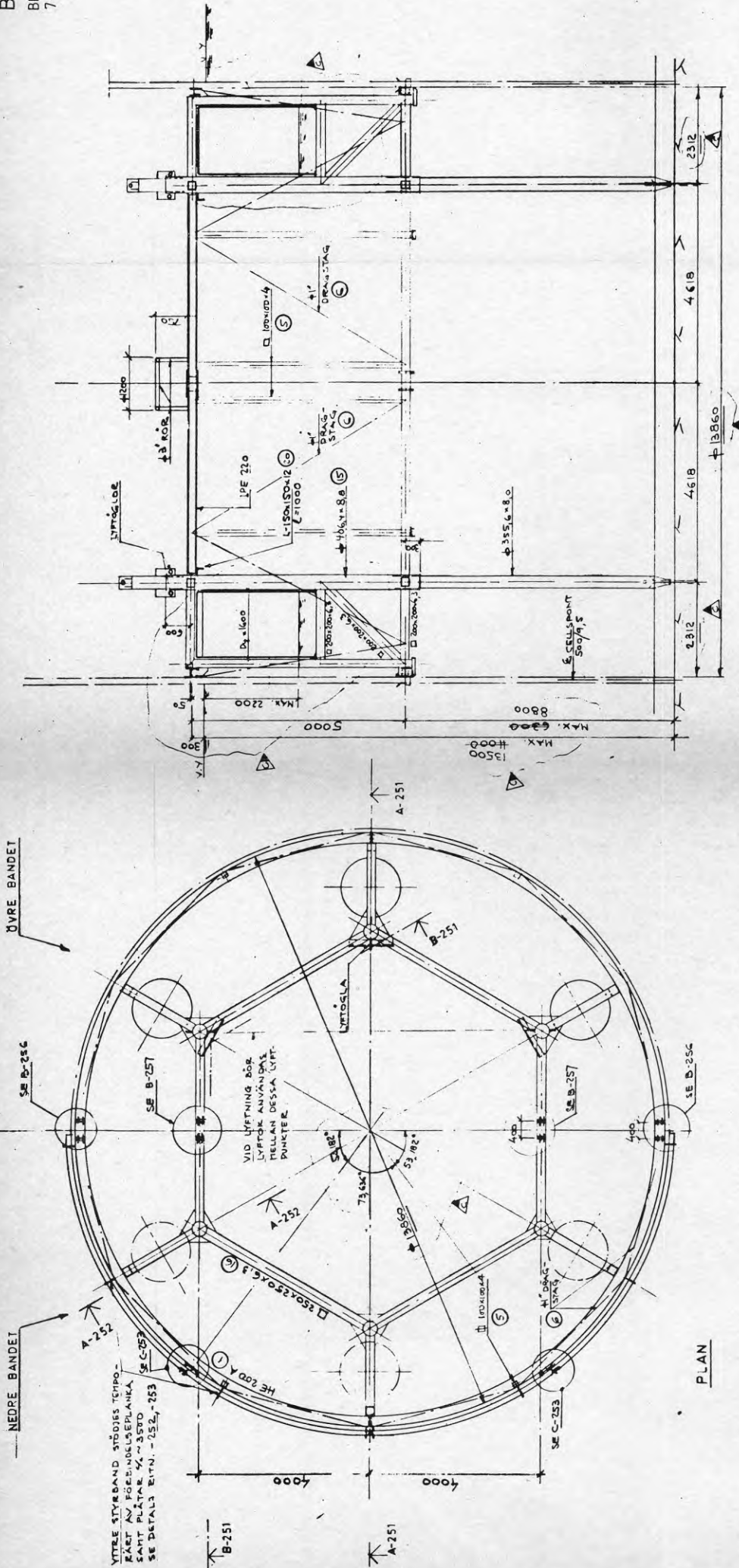
Utvecklad spont.

Figuren visar avvikelser mellan beräknat och verkligt nedträngningsdjup av spanten i cell 4.

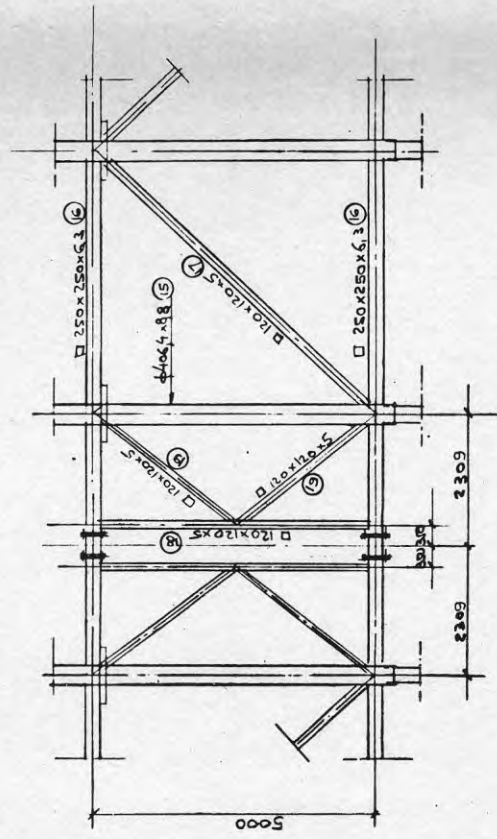


BILAGA 5

BFR - PROJEKT
78 09 90-9



PLAN



A-251

Föreskrifter

SE RITN. NR - 252

Hänvisningar

DETALJER SE RITN. NR. 252 T O M 258.

| Arbetsritning | NOJD, DIAMETER & RÖTTNING | B A | 78-09-21 |
|---------------|---------------------------|------|----------|
| C | SKARVAR | BA | 78-09-21 |
| B | KOMPLETTERAD | A | 78-09-21 |
| A | Reguleringsritning avser | Sign | Datum |

Över denna ritning får ej ändringar göras utan tillstånd från projekteraren.
This drawing may not be altered without the consent of the designer.

J&W

J. & W. Jacobson & Wagners AB
Sveavägen 25, Göteborg
Telefon 41 11 11
Förskåpningen av: G. VANNESJÖ
G. Van Ness & Co. AB
Sveavägen 25, Göteborg
Telefon 41 11 11

| STIENS VATTENFALLSVERK | Arkivnummer | 778415 |
|--------------------------|-------------|--------|
| LILLA EDEIS KRAFTSTATION | Minutnummer | 251 |
| FANGDAMM VID UTLOPP | | |
| MALL FÖR CELLSPONT | | |
| SAMMANSTÄLLNING | | |
| SKALA | | |

Föreskrifter

ALLMÄNT:
 KONSTRUKTIONSKLASS 1
 SVETSKLASS SV1
 SKÄRKLASS SK1
 SKRUFÖREBANDSKLASS S1

MATERIAL:
 SE MATERIALSPECIFIKATION
 SKRUV S 8.8.

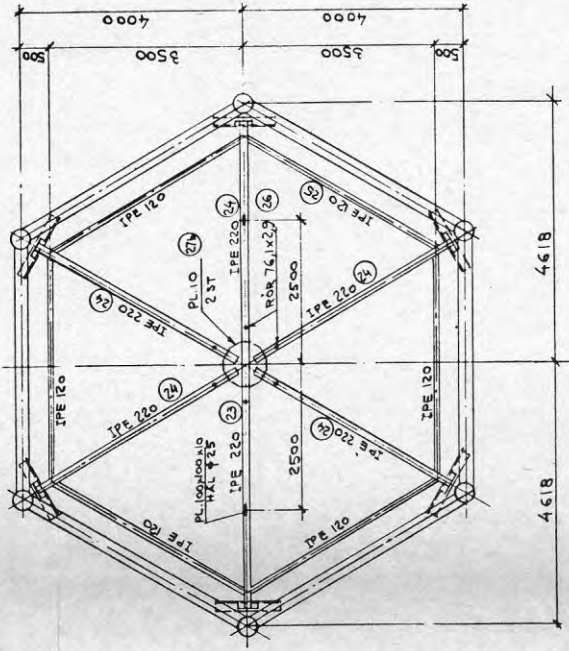
BELASTNINGAR:
 MÅLL ÄR DIMENSIONERAD FÖR ETT VATTENTRYCK PÅ 100 KG/M² MOT SPONTPÅNKOR MOTSVARANDE EN STRÖMNINGSHASTIGHET PÅ CA 1,4 M/SEK.
 PLATTFORM ÄR DIMENSIONERAD FÖR EN RÖRLIG LAST PÅ 200 KG/M².

ÖVRIGT

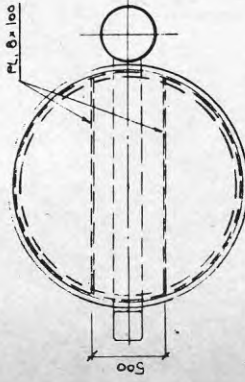
ERFORDERLIG INPLANKNING JTFÖRES AV
 ENTREPRENÖREN.
 MÅTT BETR. MÅLL GÄLLER: 500 MM BREDA GUDATPLANK
 FYRKANTRÖR TÄTTSVETSAS I ÄNDAR

Hänvisningar

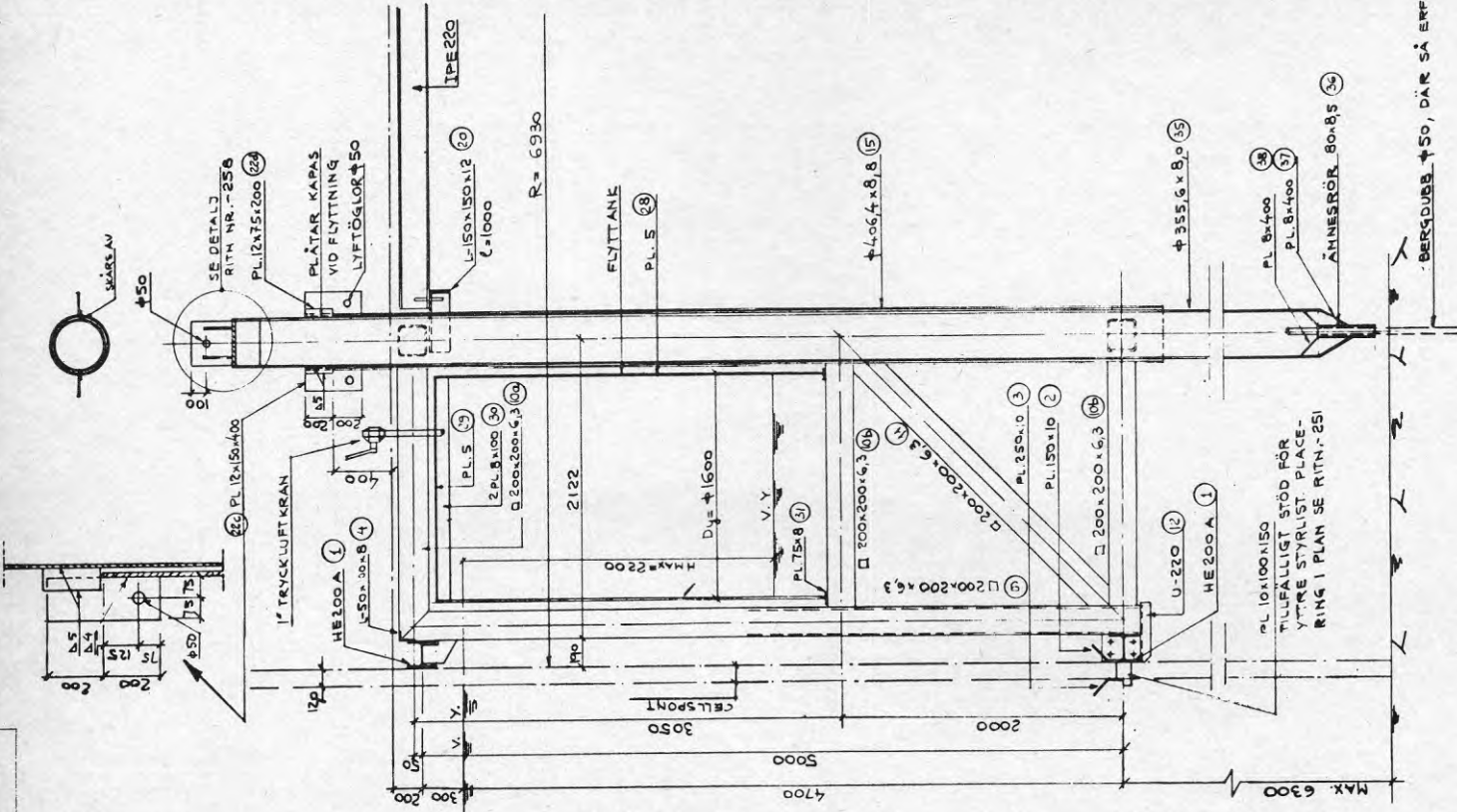
BETR. SAMMANSTÄLLNING SE RITN NR. -251



PLAN AV MITTPARTI



FLYT-TANK
-ANTAL: 6 ST.



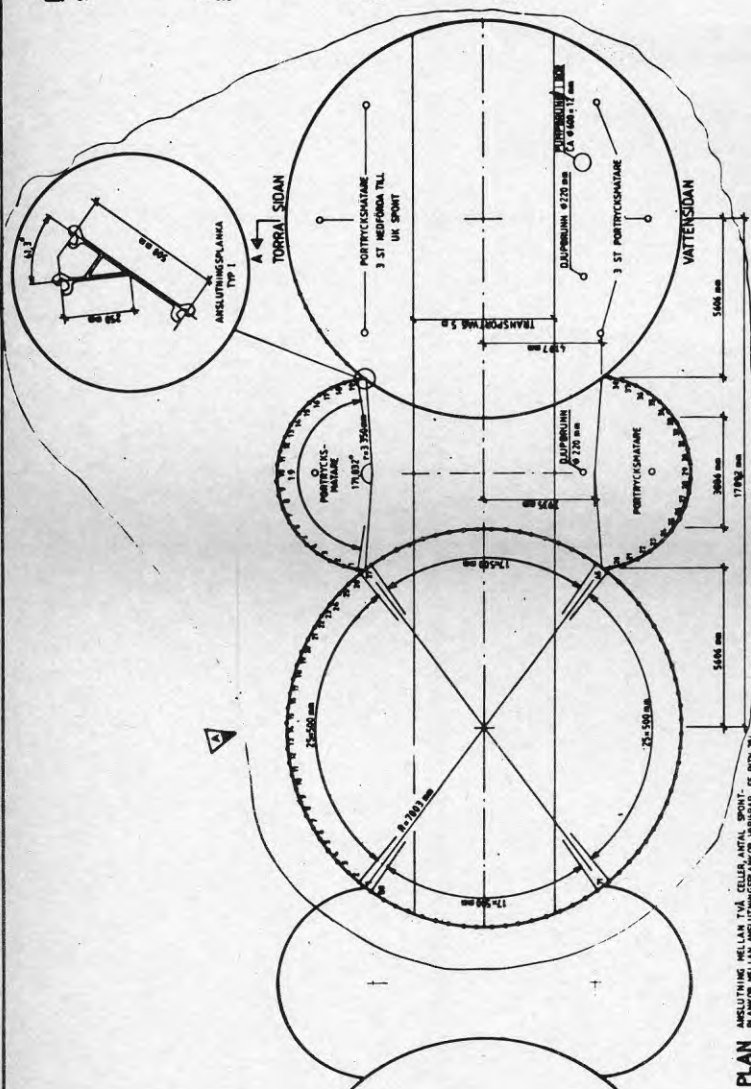
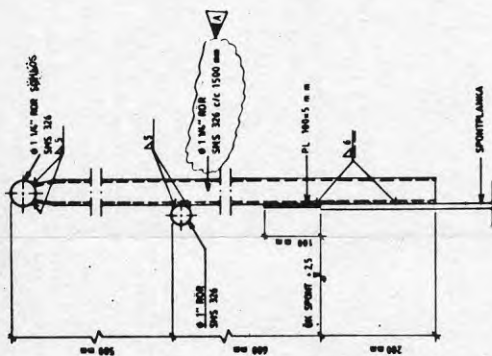
A-252

| Arbetsritning | | S A | | 78-03-21 | |
|---------------|-------------------|-------|-------|----------|-------------------|
| Fig. Nr. | Registrerings nr. | Sign. | Datum | Fig. Nr. | Registrerings nr. |
| C | OMRITAD | | | | |

J&W
 AB Jacobson & Wärnert, 08-797 00 00
 Box 131 25, Långgata 1
 141 21, Åkersberg
 Skapad av: G. WÄRNERT
 Datum: 7-12-77
 Skala: 252
 Ritningsnr: 778615

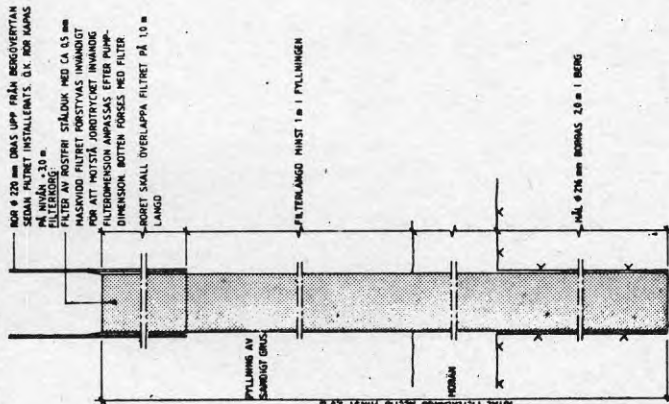
STATENS VATTENFALLSVERK
 LILLA EDETS KRAFTSTATION,
 FÅNGDAMM VID UTLOPP,
 MÅLL FÖR CELLSPONT
 DETALJER

DETALJ ④
SKYDDSRÄCKE

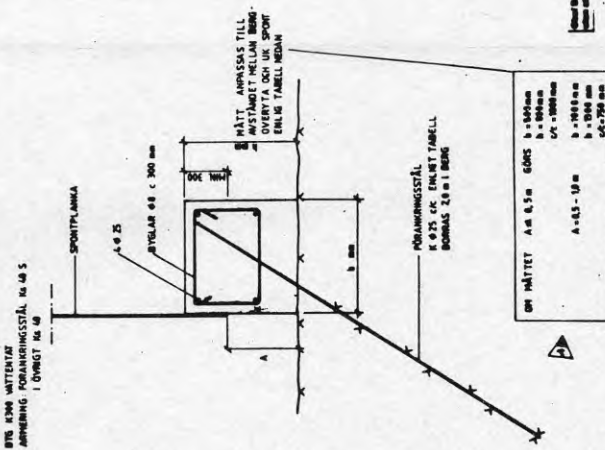


PLAN
ANSLUTNING MELLAN TVÅ CELLOR, ANTAL SPONT-
PUMOR MELLAN ANSLUTNINGSPUNKT OCH SPONT. SE RIT 28.

DETALJ ②
FILTER DUOPPUMPBUNN Ø 220 MM



DETALJ ③
TÄTLACK



ANN
MÅTT OCH DIMENSIONER:

FÄNGDAMN AV PLANSPONT, PROFIL BREDD 500 mm, TÖCKLEK 9,5 mm
GÄRANTERAD DRAGKRAFT I SPONTLÅS = 3,3 MN/m
HUVUDCELL BÄDRE R=7,003 m, 88 SPONTPLANKOR/CELL
FÖRBINDELSEBÄGE R=3,350 m, 19 SPONTPLANKOR/BÄGE

INSTRUMENTERING:

HUVUDCELLERNA FÖRSES MED:
- 6 PORTRYCKSMÄTARE ENL. VÄRSTÄMME PLANI, SOM INSTALLERAS
EFTER FYLNING AV CELLEN

- 1 PUMPBUNN Ø 600 mm
- 1 DUOPPUMPBUNN Ø 220 mm
- EV. FÖDERORR Ø 64 mm FÖR INJEKTERING

FÖRBINDELSECELLERNA FÖRSES MED:

- 1 DUOPPUMPBUNN Ø 220 mm
- 2 PORTRYCKSMÄTARE
- EV FÖDERORR Ø 64 mm FÖR INJEKTERING

OK RÖR OCH BRUNNAR = 3,0 m
OK SPONT = 2,5

FÖR KONTROLL AV CELLEFORMATIONER ERFORAS 20 ST
HÖRERADE SIGNALDRUBBAR FÖR FASTSÄTTSNING TYP WLD
ART. NR 130 488 SIGNALERNAS PLACERING BESTÄMS I SAM-
BÄD MED STATENS VÄTTERFALLSVERK. SE ÄVEN BYGGAHNS-
BESKRIVNING KAP 81.3111.

SEKTION A-A

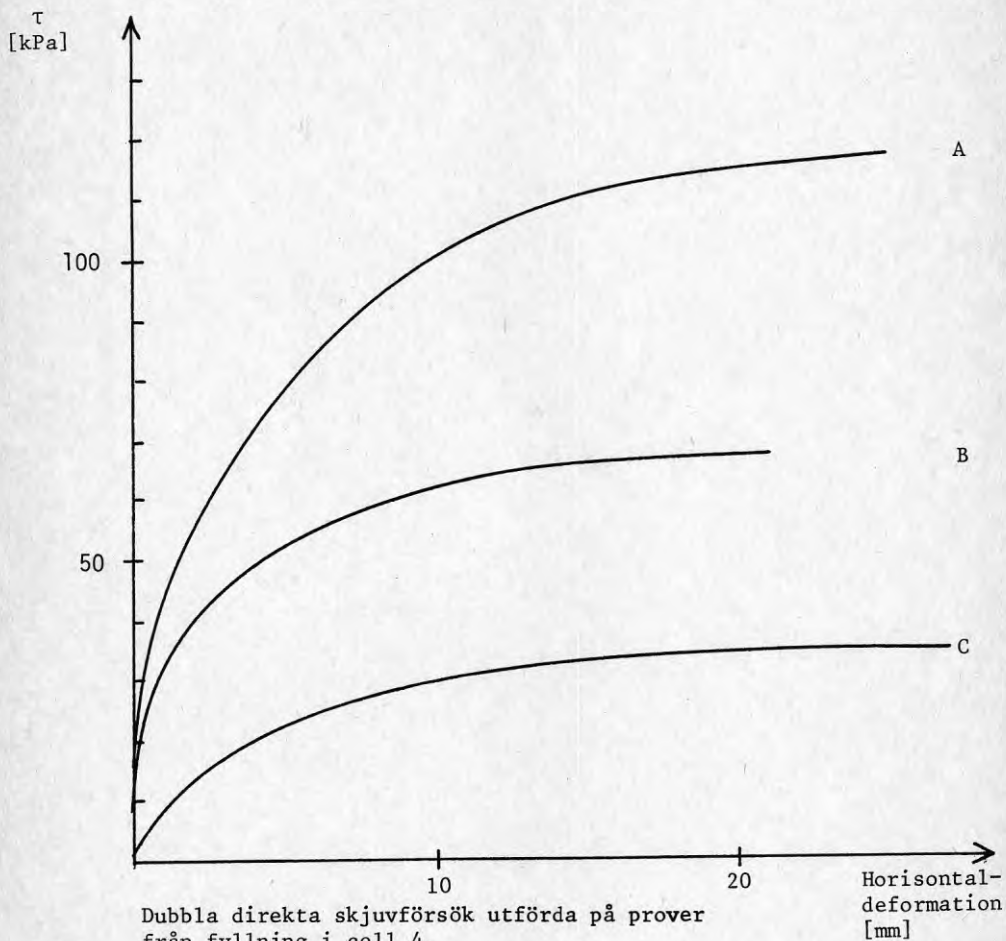


J&W
LILLA EDETS KRAFTSTATION
AGGREGAT 4, UTLOPP
FÄNGDAMN
TYPRITNING FÖR CELLSPONT, MÅTT,
MATERIAL OCH INSTRUMENTERING

ARBETSBRITNING
A
LILLA EDETS KRAFTSTATION
AGGREGAT 4, UTLOPP
FÄNGDAMN
TYPRITNING FÖR CELLSPONT, MÅTT,
MATERIAL OCH INSTRUMENTERING

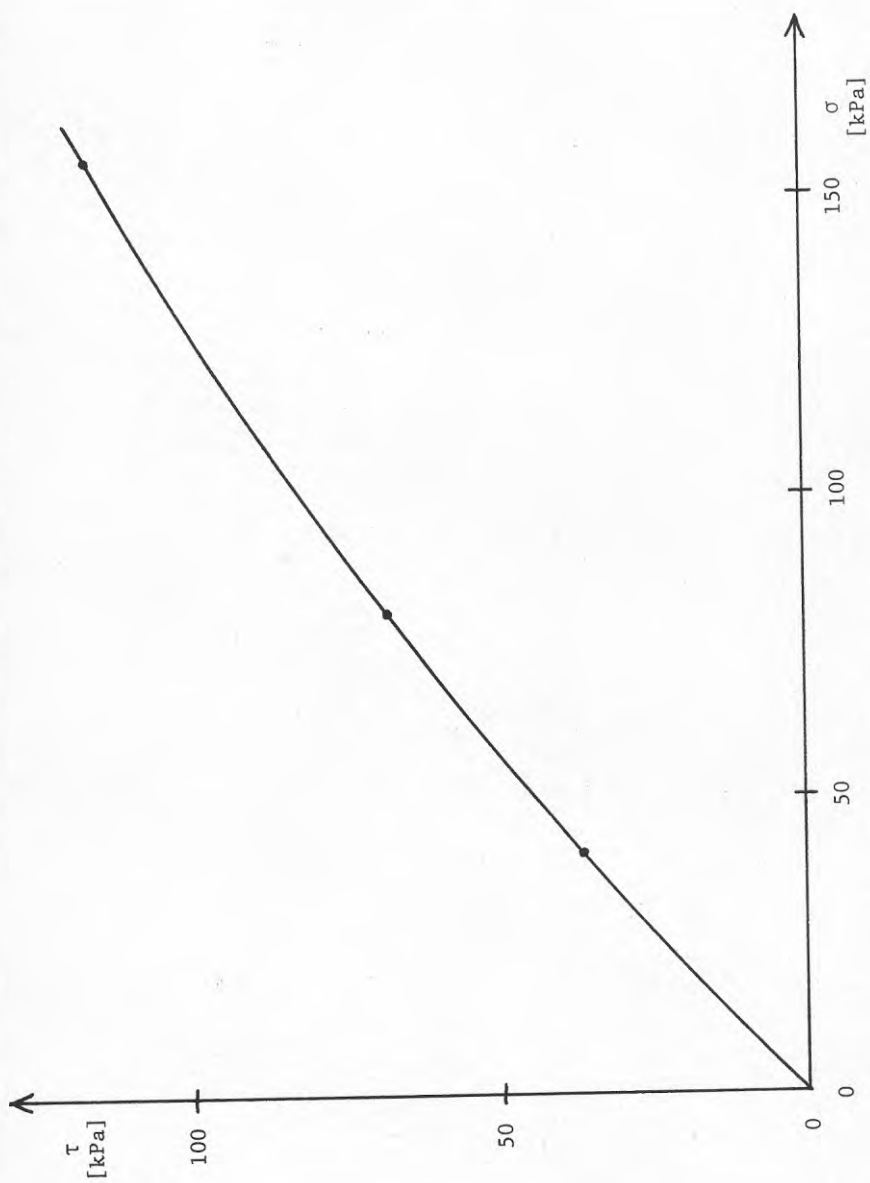
77 84 75 203

BILAGA 8



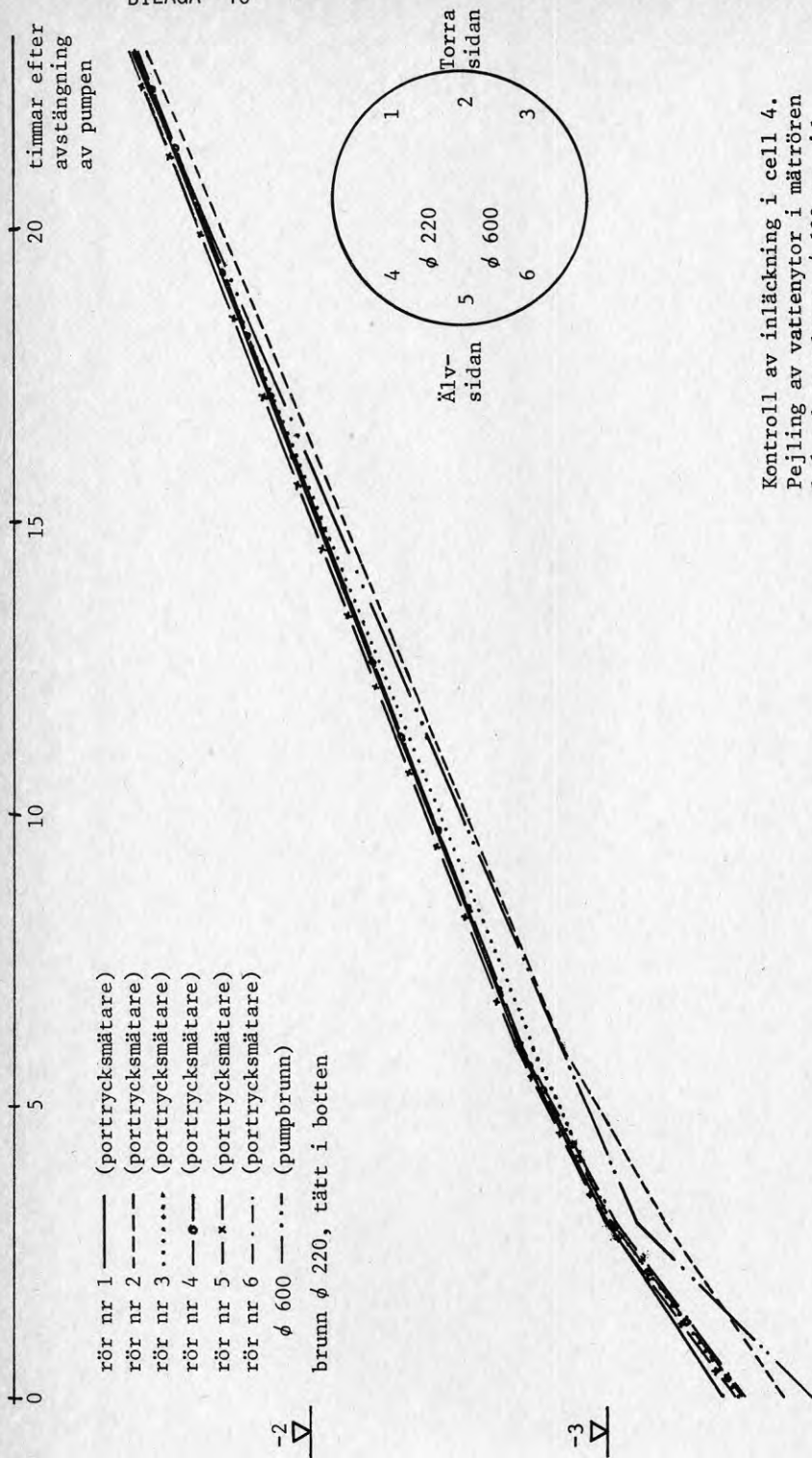
| Kurva | σ [kPa] | γ [ton/m ³] | Friktionsvinkel |
|-------|----------------|--------------------------------|-----------------|
| A | 156 | 1,88 | 36,8° |
| B | 80 | 1,87 | 40,1° |
| C | 40 | 1,81 | 41,2° |

BILAGA 9



Dubbla direkta skjuvförsök utförda på prover från fyllning i cell 4.

BILAGA 10



Kontroll av inläckning i cell 4.
 Pejling av vattenytan i mättrören
 1-6 och pumpbrunn φ 600 mm vid
 provpumpning.



LITTERATUR

Andreasson, L., 1973, Kompressibilitet hos friktionsjord. Doktorsavhandling, Chalmers (Tekniska Högskola) Göteborg

Clough, G.W., Duncan, J.M., Finite Element Analyses of Retaining Wall Behavior.

Cummings, E.M., 1957, Cellular Cofferdams and Docks, Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE, Vol. 83, No WW3, Proc. Paper 1366, pp. 13-45.

Dismuke T.D., Fang O.-Y., 1970, Design and Installation of Piles, Foundation Cellular Structures, NWO Publishing Company, Pennsylvania

Jaky, J., 1948, Pressures in Silos. (Proc. of the 2nd International Conf. on Soil Mech. and Found. Engng.) Rotterdam, Vol. 1, 1948, p 103.

Janbu, N., Soil Compressibility as Determined by Oedometer and Triaxial Tests. (European Conf. on Soil Mechanics & Found. Engng) Wiesbaden, Vol. 1, 1963, pp 19-25.

Jensen, H.P., 1974, Cellespункonstruksjoner et nytt alternativ ved kaijybygging, Særtrykk 3510, Tekn. Ukeblad 34/1974

Konder, R.L., 1963, Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils. (Journal of the Soil Mechanics and Foundations Div., ASCE) Vol. 89, No. SMI, 1963 pp 115-143

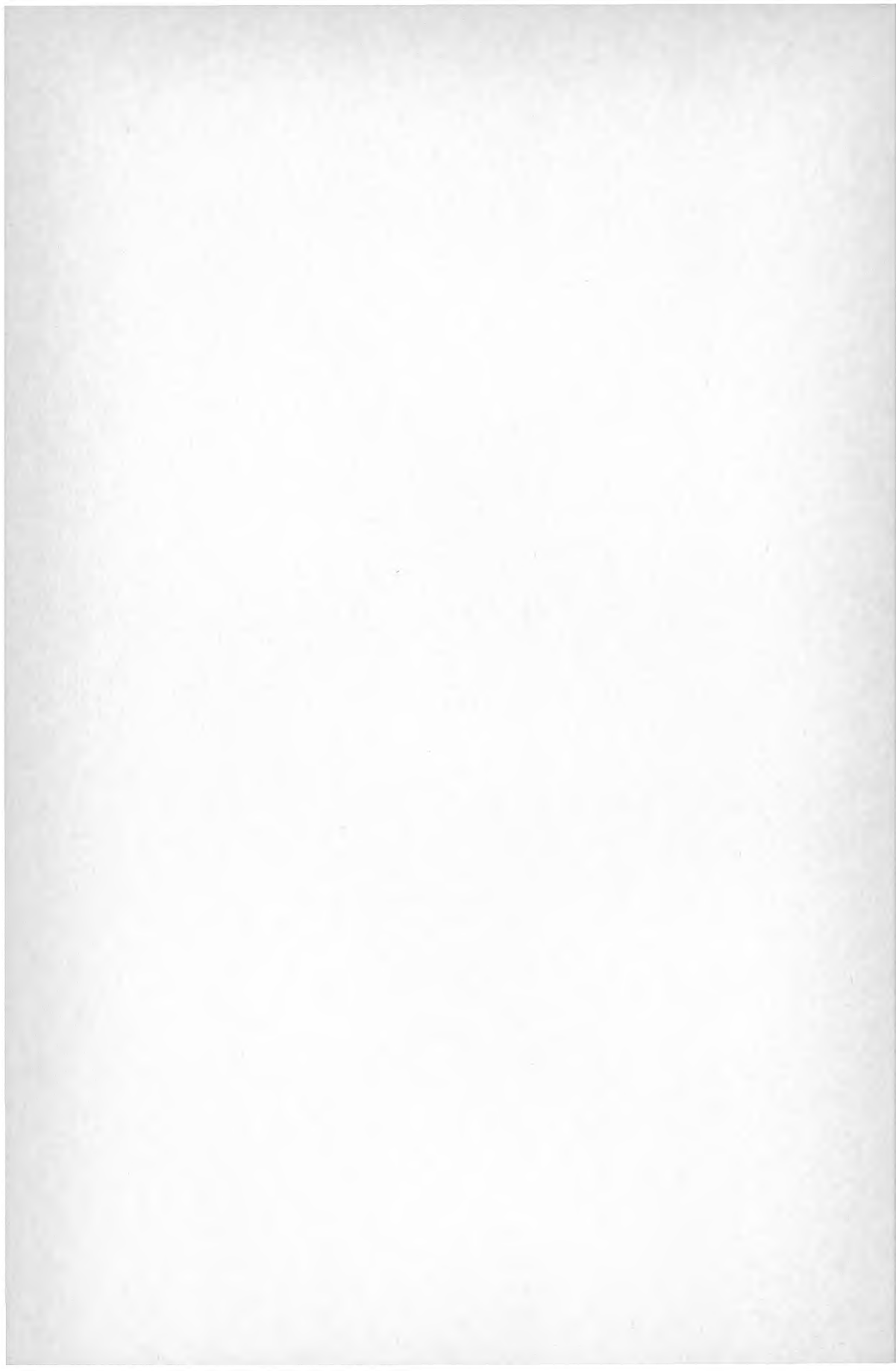
Stille, H., Fredriksson A., 1979, Analys av förankrade sponter med finita elementmetoden (BFR-rapport under utgivning), Stockholm.

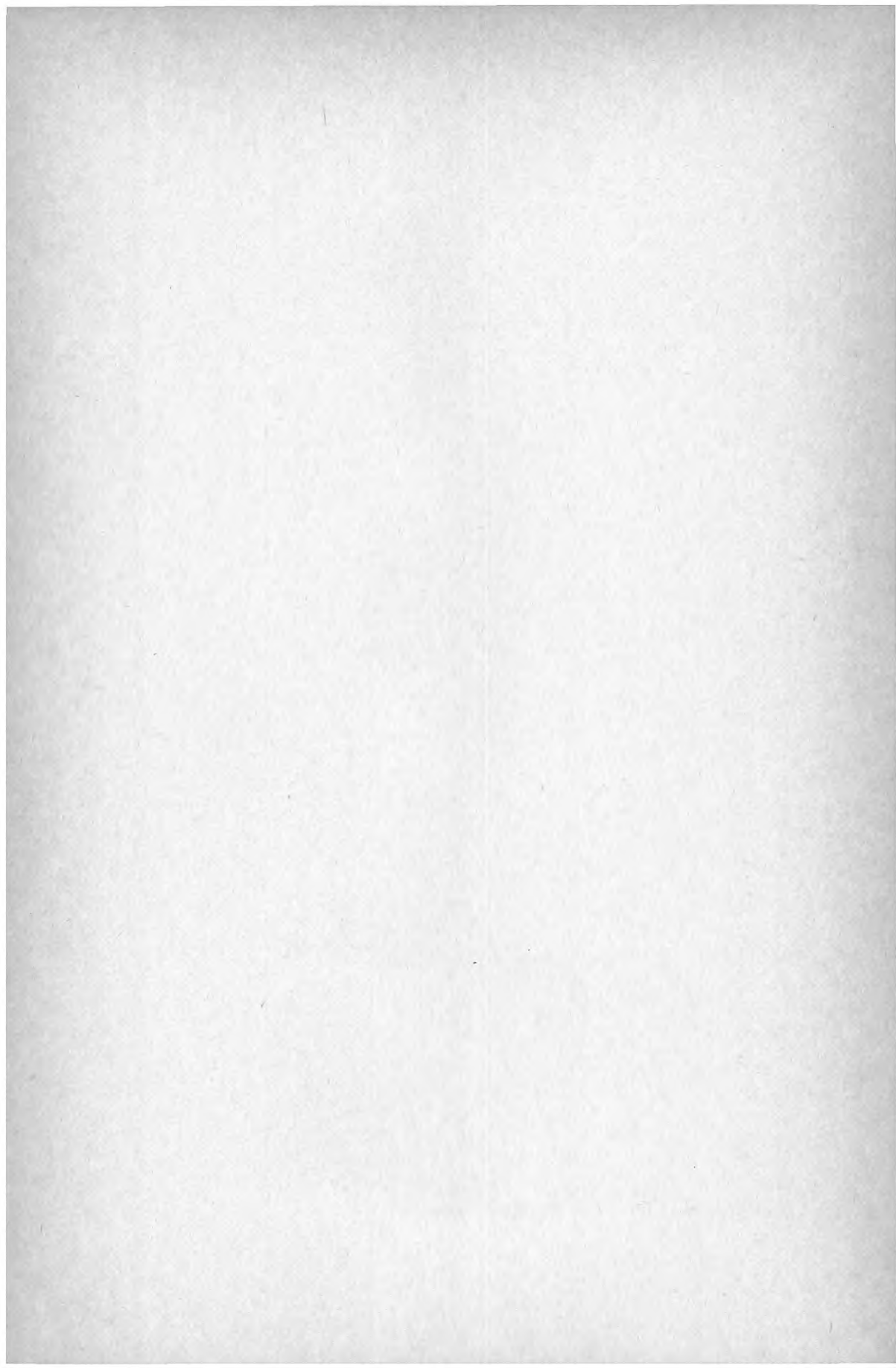
Swatek, E.P., 1967, Cellular Cofferdams Design and Practice, Journal of the Waterway and Harbors Division, ASCE, Vol. 93, No. WW3, Proc. Paper 5398 pp 109-132.

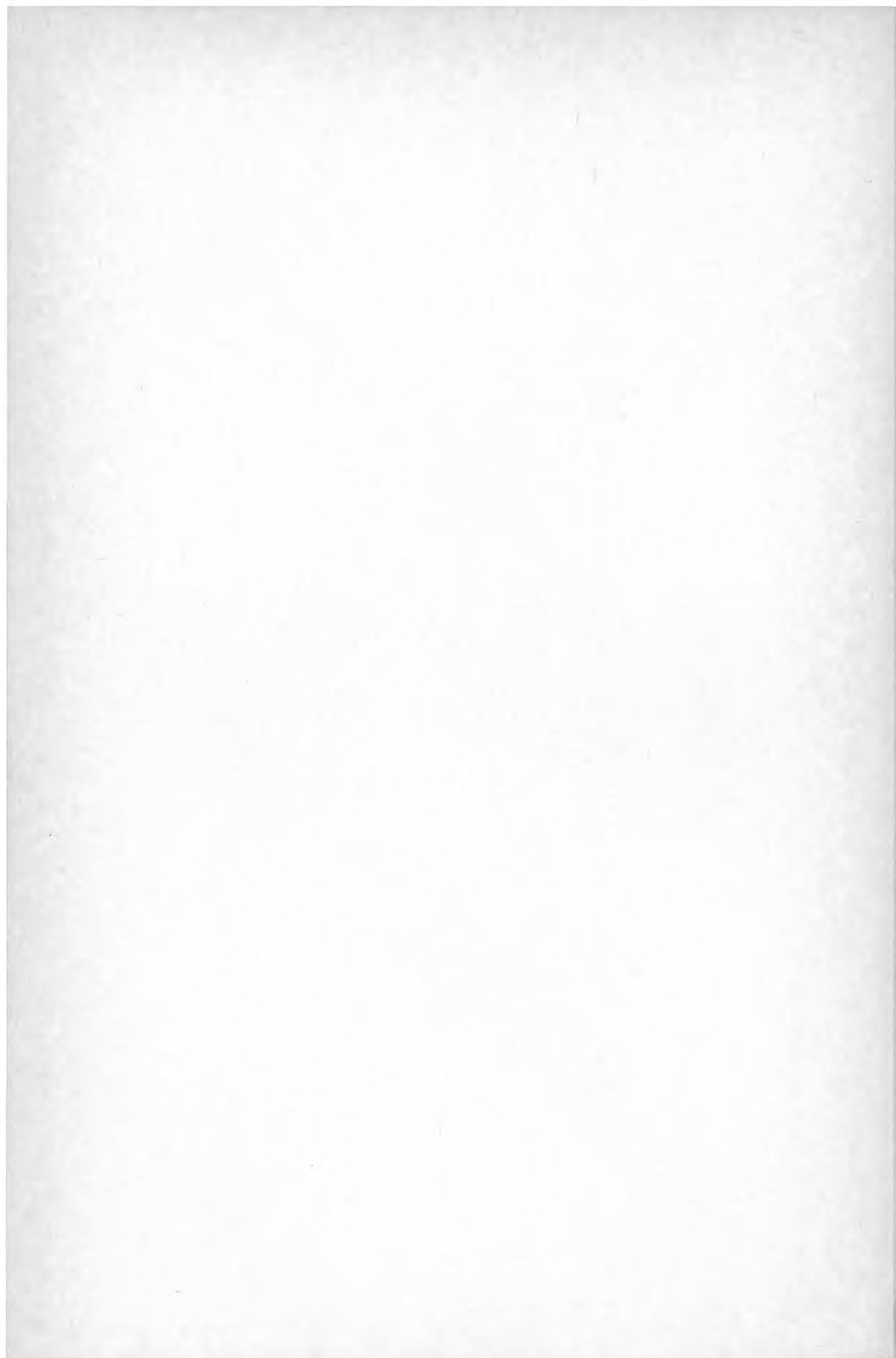
Terzaghi, K., 1945, Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams, Transactions, ASCE, Vol. 110, Paper No 2253, pp 1083-1119

Wiberg, N-E., 1975, Finita elementmetoden en datoranpassad beräkningsmodell för ingenjörspöblem, Liber läromedel, Lund

Construction plant for TVA Projects, Steel Sheet Piling Cellular Cofferdams on Rock, Technical Monograph, No 75, Volume 1, 1975, Knoxville, Tennessee.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780990-9
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Jacobson
& Widmark, Lidingö och Skånska Cementgjuteriet,
Göteborg.**

R148: 1979

ISBN 91-540-3150-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700048

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms