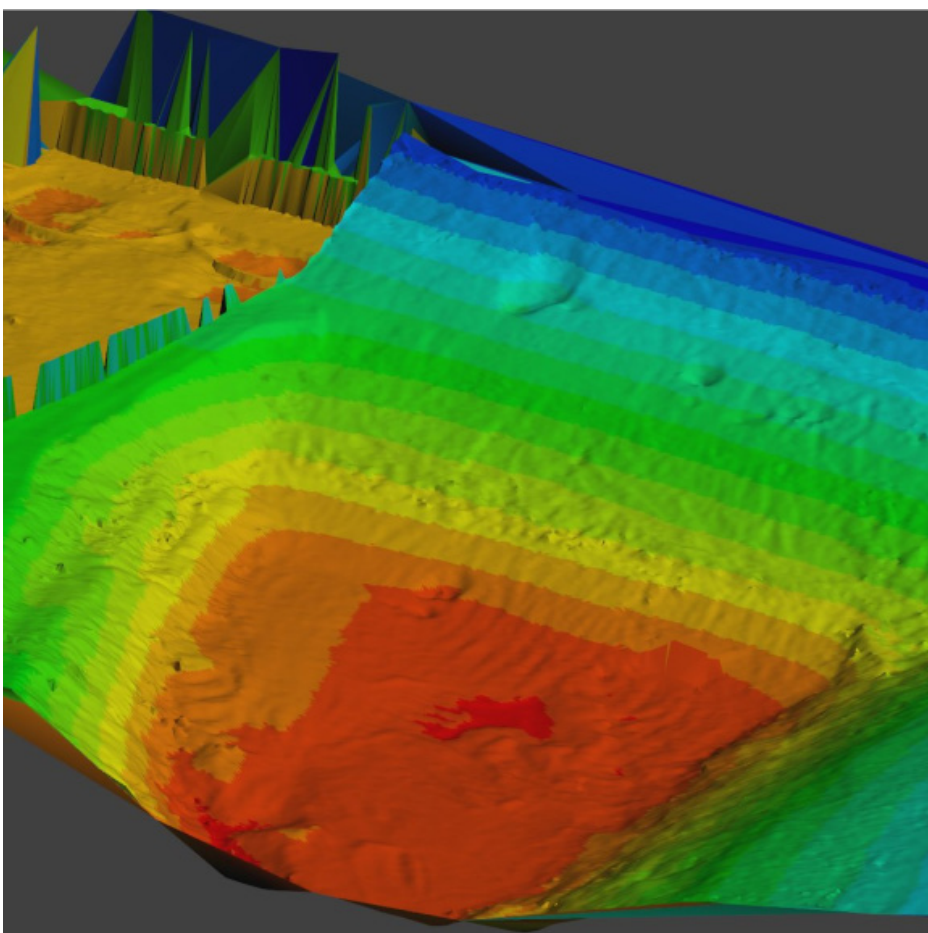


ERSÄTTNING AV TÄTKÄRNA MED SEKANTPÅLAR

RAPPORT 2016:322



Ersättning av tåtkärna med sekantpålar

Erfarenheter från Spjutmo

INGVAR EKSTRÖM OCH CARL-ANDERS ANDERSSON

ISBN 978-91-7673-322-6 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Syftet med projektet har varit att sammanställa och tillgängliggöra erfarenheter från ett ombyggnadsprojekt där moräntätkärna ersattes med sekantpålar. Rapporten beskriver urvalsprocessen som ledde fram till åtgärden , samt de erfarenheter som dokumenterades under uppförandet.

Uppdraget utfördes av Ingvar Ekström och Carl-Anders Andersson, Sweco Energuide, Vattenkraft och dammar.

Projektet ingick i Energiforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete med medverkan från vattenkraftföretag och Svenska kraftnät.

Rapportförfattarna ansvarar för rapportens innehåll.

Stockholm december 2016

Sara Sandberg

Sammanfattning

Under 2013 konstruerades en ny dammtätning i Spjutmo, som ersätter och utökar den befintliga. Detta är den första dammreparationen som utförts med sekantpålar i Sverige. Vid en inspektion 2010 noterades flera avvikelser i den tätande funktionen. Efter utredning beslutade ägaren att den befintliga tätningen skulle ersättas i sin helhet. Ett flertal metodval utvärderades, såsom slitsmur, injektering, jetpelare, borrade rörpålar, komplettering av befintlig tätkärna med morän, samt partiell avschaktning och återuppbyggnad av dammen. Efter en förstudie beslutade ägaren att installera en sekantpålevägg ned till berg över hela dammens längd.

Sekantpålar valdes bl.a. för att störningarna i dammkonstruktionen och dess funktion vid arbetets utförande bedömdes sammantaget vara lägre med denna metod än för de övriga metoderna. Vidare bedömdes utbredningen av gjutningen av väggen vara väl kontrollerad och inträngningen i kringliggande material i eventuella utvecklade läckagevägar vid gjutning som gynnsam. En kostnadsjämförelse visade även på påtagliga ekonomiska fördelar med denna metod. Avgörande var möjligheten att verifiera den nya tätväggens dimensioner, att väggen kunde utföras under normal drift av anläggningen, utan neddragning av magasinet och att en teknisk livslängd på minst 50 - 100 år rimligen kunde uppnås.

Deformations-, och spänningsberäkningar utfördes bl.a. PLAXIS för att verifiera inverkan som kan uppkomma på den nya tätväggen. Utifrån genomförda beräkningar kunde sekantpåleväggens utformning optimeras och utföras av oarmerad betong. En påldiameter på 1,2 m diameter med 0,2 m överlappning valdes för att säkerställa att en tät vägg erhöles.

Foderrörets läge mättes med millimeternoggrannhet under borrhning. Tillåten genomsnittlig vertikalavvikelse sattes till 2 - 5 mm/m, med en startavvikelse på ± 20 mm från beräknad centrumpunkt för pålen. Tillåten vertikalavvikelse varierade beroende på pålens längd. Då bergytan sträckvis lutade påtagligt, utfördes mejsling till ca 0,8 - 0,9 m djup under konstaterad bergkontakt, för att säkerställa att bergkontakt erhöles över hela bredden av pålens fotavtryck. I den vertikala delen av tätkärnan invid betongkonstruktionen utfördes borrhning och gjutning med foderröret vattensatt. Detta för att minska risken för bottenuppträckning innan gjutning. Påldjupet ökade successivt från 17 m invid utskovet och var som djupast ca 37 m vid höger strand.

Framdriften gick enligt plan och låg tidvis före tidschemat. I snitt borrades och göts en påle per arbetsdag. I snitt åtgick ca 10 % överbetong vid gjutning, vilket är en normal omfattning för det material som gjutningen utfördes i. I vissa sektioner, där det sedan tidigare varit känt att avvikelser förekommer i dammens ursprungliga tätning, krävdes punktvis upp till 25 % överbetong vid gjutning i stödfyllningen.

Ett strikt program för miljöövervakning utfördes fortlöpande med daglig vattenprovtagning upp-, och nedströms dammen, både i älven och i borrhål. Detta för att kunna verifiera att inget skadligt utläckage av cement eller kemiska tillsatser förekom under entreprenaden. Provtagningarna påbörjades året innan entreprenaden för att erhålla referensvärden, vilka sedan jämfördes med historiska data för älven, erhållna från miljömyndigheter. Även grundvattennivåer och temperaturvariationer i och kring dammen övervakades. Deformationer mättes i dubbar i dammkrönet och efter färdigställd reparation med inklinometrar i sekantpåleväggen. Uppmätta data visade att sekantpåleväggen presterade som förväntat.

Summary

During a dam safety inspection of Spjutmo in 2010 several deficiencies were observed in the water retaining function. The owner decided to replace the entire core in the right embankment dam with a secant pile cut-off wall. This was the first dam repair of this type in Sweden. Different cut-off wall remedial options and reconstruction of the dam were studied. Eventually, a secant pile cut-off wall was selected because of the following main reasons:

- It was deemed to cause less disturbance in the dam body compared to other cut-off wall methods.
- The condition of the existing core and the integrity and extension of the new core would be easier to control and verify than with several of the other methods
- The concrete penetration in potential erosion cavities in the dam fill, during casting of the piles, was seen as favorable.
- The repair could be carried out during normal operating conditions, without lowering the reservoir.
- A cost comparison indicated notable economic advantages with this method over the other.

PLAXIS calculations were carried out to evaluate the influence on the stress strain distribution in the dam, as well as additional deformations. From this it was decided to use unreinforced concrete piles. A pile diameter of 1.2 m and a 0.2 m overlap were selected. Pile length varied between 17 and 37 m. The rock foundation was chiseled to an average depth of 0.8 – 0.9 m under the bedrock surface to ensure a good connection between pile and bedrock. The bedrock elevation had before drilling began been determined by JB sounding. All drilling inside the original core was carried out with the casing filled with water to the dam crest, to ensure that there was no heave before the pile was cast. Outside the original core, the water level was maintained above the surrounding ground water table. The pile connection to the spillway wall was completed by installing a wide sheet pile in the pile lock of the existing sheet pile in the spillway wall.

The construction of the secant pile wall was completed according to the time schedule. As an average one secant pile was drilled and cast every working day. In general 10 % excess concrete was required, compared to the theoretical pile volume, which is normal. In some sections, in particular where it from seepage temperature monitoring was known that there were divergences and an increased leakage flow, up to 25 % excess concrete was required. This indicated a good penetration in existing leakage paths in the dam fill.

An extensive environmental program was carried out. Water samples were taken daily up- and downstream of the construction site, as well as in the drainage system downstream of the dam. Also ground water temperature variations, as well as ground water levels around the construction site, were monitored. Deformations in the dam body was measured in benchmarks and in inclinometers to validate the theoretical deformations from the PLAXIS model. Both theoretical as well as actually monitored deformations were too small to be registered. The temperature data and ground water elevations monitored responded as expected during the construction period. The monitoring data indicate that the secant pile wall performs as intended.

Innehåll

1	Inledning	9
2	Beskrivning av sekantpålar	10
2.1	Allmänt	10
2.2	Användningsområden	15
2.3	Fördelar och nackdelar med sekantpålevägg	15
2.4	Kostnadsläge	16
3	Praktikfall Spjutmo	17
3.1	Anläggningsbeskrivning	17
3.2	Noterade avvikelser och omedelbara åtgärder	18
3.3	Skadornas uppkomst	24
3.4	Utvärdering av föreslagna reparationsmetoder	26
3.4.1	Allmänt	26
3.4.2	Stålrörsspont	27
3.4.3	Jetpelare	28
3.4.4	Sekantpålar	29
3.4.5	Slitsmur	30
3.4.6	Vertikal tätvägg av injektering i dammlinjen	30
3.4.7	Membran över och kring de skadade områdena	31
3.4.8	Slutligt metodval	32
3.5	Dimensioneringsberäkningar för sekantpåleväggen	32
3.5.1	Allmänt	32
3.5.2	Val av huvudsaklig utformning av sekantpåleväggen	33
3.5.3	Beräkningsmodell och materialparametrar	33
3.5.4	Deformationsbild i dammkropp och sekantpålevägg	35
3.5.5	Krafter i sekantpålevägg	40
3.5.6	Resultat av beräkningar	41
3.5.7	Åldringseffekter och sprickor i sekantpåleväggen	42
3.5.8	Betongkvalitet	43
3.6	Instrumentering	44
3.7	Vattentäthet och dämmande funktion	44
3.8	Miljöaspekter	45
3.9	Kommentarer kring utförandet	46
3.9.1	Allmänt	46
3.9.2	Styrbalk	46
3.9.3	Borrning och gjutning av pålarna	48
3.9.4	Anslutning till befintliga betongkonstruktioner	50
3.9.5	Pålarnas dimension och centrumavstånd	54
3.9.6	Anslutning mot berg	57
3.9.7	Pelaryväggs överyta och dammkrön	57
3.10	Uppföljning av funktion	59

1 Inledning

I Energiforsks rapport "Reparationsmetoder för fyllningsdammar – Sammanställning av erfarenheter av relevans för svenska förhållanden" redovisas ett antal reparations-, och förstärkningsmetoder som antingen använts historiskt i Sverige, eller som nyligen har provats vid anläggningar inom landet.

Som en del i detta redovisades ett utdrag från de reparationsåtgärder som utfördes 2011 – 2013 i Spjutmo, där en sekantpålevägg installerades. I denna rapport ges en mer detaljerad beskrivning av de händelser som ledde fram till reparationsåtgärden, en utvärdering av de reparationsmetoder som övervägdes utifrån de lokala förhållandena, det beräkningsunderlag som ledde fram till den slutliga utformningen av sekantpåleväggen, samt utförandet.

Materialet i denna rapport utgör en sammanställning av de handlingar som togs fram under utredningen av dammen, samt de uppgifter som erhållits från entreprenören och som sammanställts i kvalitetspärmarna från entreprenaden. Även den övervakning som genomförts sedan väggens färdigställande för att verifiera gjorda beräkningsantaganden och kontrollera väggens funktion kommenteras.

2 Beskrivning av sekantpålar

2.1 ALLMÄNT

Sekantpålar eller grävpålar är en form av borrarade och därefter platsgjutna pålar, som utförs i en sammanhängande rad för att skapa en kontinuerlig, tät och bärkraftig vägg under mark, där pålarna överlappar varandra så att en tät vägg erhålls. I detta avsnitt ges en generell beskrivning av metoden, samt en metodbeskrivning med inriktning på hur den har tillämpats för att reparera höger fyllningsdamm i Spjutmo.

Metoden med sekantpålar är vanlig internationellt, men mindre beprövad i Sverige. Detta beror delvis på att svenska myndigheter fram tills 2008 inte accepterade att de används i permanenta konstruktioner. Aktuella erfarenheter av sekantpålning i åsmaterial i Sverige finns, förutom från Spjutmo, även från bl.a. Norra Länken (Norrtull) i Stockholm.

Sekantpålar används huvudsakligen för att skapa permanenta eller temporära stödväggar vid schaktning under mark. Förutom att utgöra stödvägg för vertikala schakt kan de, som avsikten är i dammar, användas för att kontrollera grundvattenflöden och minimera deformationer i närliggande lös eller vattenmättad mark. Genom att sekantpåleväggen är en relativt styv konstruktion används den ofta där schaktning behöver utföras invid känsliga konstruktioner.

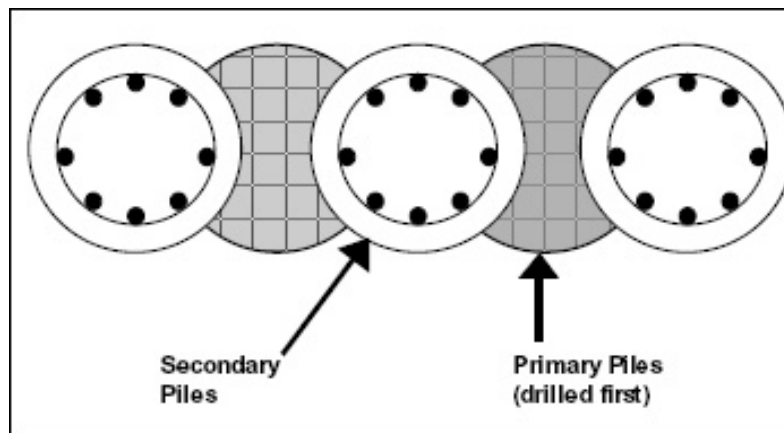
Efter gjutning av pålarna kan schaktning utföras vertikalt utanför dessa. Detta möjliggör djupa, vertikala schakt invid befintliga konstruktioner. Vid djupa schakt kan sekantpålarna bakåtförankras för att kontrollera att påkänningarna i betongen ej förorsakar brott. Ett annat huvudsyfte med metoden kan vara att hålla ute grundvatten under schaktarbeten, eller för att förhindra grundvattensänkning i närområdet.



Figur 2.1 - 1 Typexempel på färdiggjuten styrbalk. Frigolitblocken utgör form för genomföringarna för sekantpålarna.

Arbetena inleds med att en så kallad styrbalk (kallas även ledbalk) gjuts på markytan i läget för den planerade sekantpålsväggen. Styrbalken har förgjutna genomföringar för borrhningen av sekantpålarna och är till för att dessa skall hamna i kontrollerade lägen och för att underlätta styrningen vid borrhning. Ett exempel på styrbalk framgår av Figur 2.1 - 1. Genomföringarna överlappar varandra så att var påle går in i de intilliggande och skapar en sammanhängande vägg.

Varannan påle konstrueras först och kallas primärpåle eller hona. Dessa pålar borraras efter mönstret i styrbalken. Därefter borraras de mellanliggande sekundärpålarna, även kallade hanar, in genom de delvis härdade primärpålarna, se Figur 2.1 - 2.



Figur 2.1 - 2 Typexempel på utförande med oarmerade primärpålar (markerade med rutor) och sekundärpålar försedda med runda armeringskorgar med stående järn.

Sekundärpålarna kan förses med ringarmering och längsgående järn eller t.ex. med förstärkande balkar såsom visas i Figur 2.1 - 3.

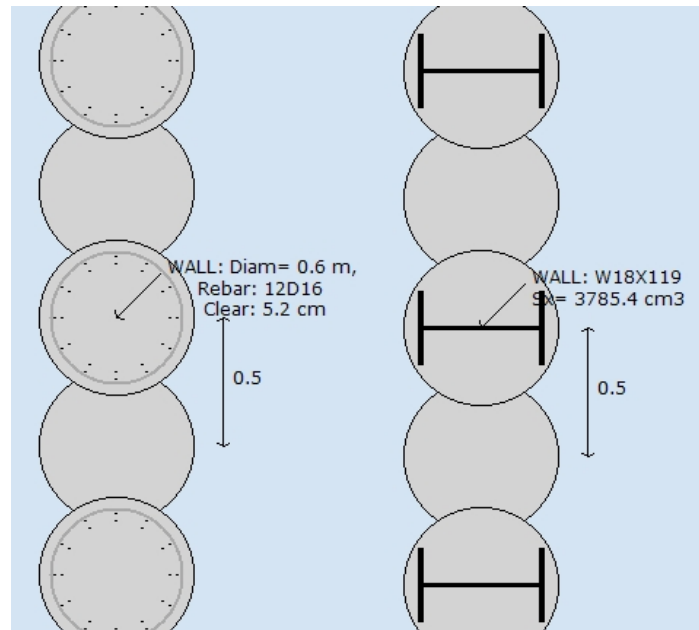
Neddrivningen utförs vanligtvis med foderrör med större dimensioner med en s.k. oscillator som vrider foderröret. En ringkrona på rörets bottenkant vrids med en framåt- och tillbakagående (oscillerande) rörelse, samtidigt som röret pressas nedåt. Oscillatoren är försedd med en ring som greppar kring foderröret. Vridningen sker genom cylindrar som matas från ett separat hydrauliskt kraftpaket. Oscillatoren fixeras till den larvburna kranen som används för de olika arbetsmomenten vid drivningen. Den kan belastas för att ge ökat mothåll och förbättra inträngningsförmågan och styrningen. För förbättrad styrning vid borrhning i berg, eller för att passera överhäng, kan även en s.k. rotator användas.

I grävpålar utförda med oscillator grävs jord- och stenmaterialet inuti foderröret successivt ur med gripskopa. Det finns också varianter där materialet skruvas upp ur foderröret, vilket kräver en pålningsrigg med bormotor. Skruvning används oftast bara i mark där foderrör inte är erforderligt för att hålla borrhålet öppet. Metod för upptagning av lösgjort material inne i foderröret beror också på dess diameter.

För grundläggning mot trasigt ytberg utförs ofta mejsling av bergytan för att förbättra kontakten vid gjutning och minska det förväntade läckaget under den färdiga sekantpålsväggen. Mejsling utförs även för att krossa block som ligger i vägen för foderrörets neddrivning och som inte kan tas upp intakta genom foderröret.

Detta utförs genom att en tung fallmejsel, med rak eller kryssförsedd spets, släpps inne i röret från lämplig höjd, vanligtvis ca 1 m över berget/blocket som skall spräckas upp. Fallmejseln vinschas upp och ner av kranen som utför installationen av foderröret.

Den beskrivna schaktmetoden kan användas i relativt grova och steniga jordarter, liksom i fyllning. Med mejsling kan pålarna även utföras genom armerad betong och ner i gott berg.



Figur 2.1 - 3 Exempel på sekantpålevägg dimensionerad med programmet DeepEx från grundläggningsföretaget Deep Excavation från USA.

Efter det att neddrivning utförts till avsett djup och botten i foderröret rensats, fylls röret med betong under uppdragning av foderröret. Detta medför att utrymmet som uppkommer utanför foderröret under borrhning (överborrningen) fylls med betong under uppdragningen, tillsammans med eventuella håligheter som kan förekomma i anslutning till foderröret, eller som har uppkommit under borrhningen. Vanligtvis är den praktiska gjutvolymen därför 10 – 15 % större än den teoretiska för rörvolymen.

Pålarna kan vara både armerade eller oarmerade, beroende på användning och behov av styrka. För temporära konstruktioner görs armering ofta med prefabricerade armeringskorgar eller stålbalkar som sänks ner i foderröret för sekundärpålarna innan gjutning. För permanenta konstruktioner är det vanligast att alla pålar armeras, även om detta är mer komplicerat för genomborrningen av primärpålarna.

Betongens flytförmåga anpassas i förhållande till den kringliggande markens sammansättning, så att en lämplig inträngning uppnås. Betongkvaliteten varieras också utifrån behov för att erhålla en passande styvhet i förhållande till omgivande grund. Även andra typer av pålmaterial förekommer, som t.ex. slurry där enbart tätande och inte bärande förmåga eftersöks. Gjutning under vattenmättade förhållanden utförs som undervattensgjutning.

När primärpålarna borrats och gjutits utförs de kompletterande sekundärpålarna för att täta utrymmena mellan primärpålarna, så att en sammanhängande, tät vägg erhålls. Tidsutrymmet för detta är begränsat, på grund av att primärpålarna skall ha hunnit härda lagom mycket för att vara lämpliga att borra igenom. En påle som härdat för länge medför att foderröret för den mellanliggande pålen riskerar att divergera och dra snett i kontakten mellan dessa, så att en bristfällig överlappning erhålls.

Sekantpålarna kan, bl.a. för att underlätta neddrivningen av sekundärpålarna, tillverkas med olika hårdhet så att varannan påle utförs med lägre hållfasthet. Detta benämns vanligtvis mjuka och hårda pålar. Normalt används långsamt härdande betong till primärpålarna för att minska risken för att sekundärpålarna skall divergera. Primärpålarna har ofta bentonit i gjutmassan, medan hårda pålar ofta görs av högkvalitativ betong. Sammansättningen styrs också av behoven för framtida vattentäthet.

Val av rördiameter görs utifrån en teknisk-ekonomisk optimering och beror på bl.a. djup, antal bormeter, foderrörskostnad, krav på överlappning och sekantpåleväggens storlek. För en djupt gående vägg används oftast en större påldiameter för att säkerställa att erforderlig överlappning erhålls, eftersom pålarnas avdrift ofta ökar med ökat djup. En mindre diameter kan vara tillräcklig för ytliga konstruktioner, eller där den vertikala styrningen kan antas vara god, men en mindre diameter ökar antalet bormeter. Rördiameter väljs även bl.a. utifrån förväntad största materialstorlek i materialet som skall tas upp genom röret. Detta för att så långt som möjligt undvika mejsling, som kan åstadkomma en kraftig områdespåverkan jämfört med enbart bormning och upptagning av löst material genom röret. En påldiameter på 1,0 m med 0,8 m centrumavstånd är vanligast och mest kommersiellt gångbar, även om både mindre och större pålar förekommer.

Påldiametrar på upp till 6 m och installationer till mer än 120 m djup har utförts under de senare åren. Bland de mest spektakulära av dessa arbeten som avser dammreparationer kan nämnas Wolf Creek och Arapuni, som båda utförts under den senaste tioårsperioden.

Den övre begränsningen i diameter beror, förutom på ekonomiska faktorer, på tekniska möjligheter att driva ner ett foderrör av stor diameter i marken. Hur stor överlappningen bör vara mellan pålarna beror på kraven på tätheten i den färdiga konstruktionen, toleransgränser hos borrhutrustningen, samt vilka avvikelser som accepteras i konstruktionen.

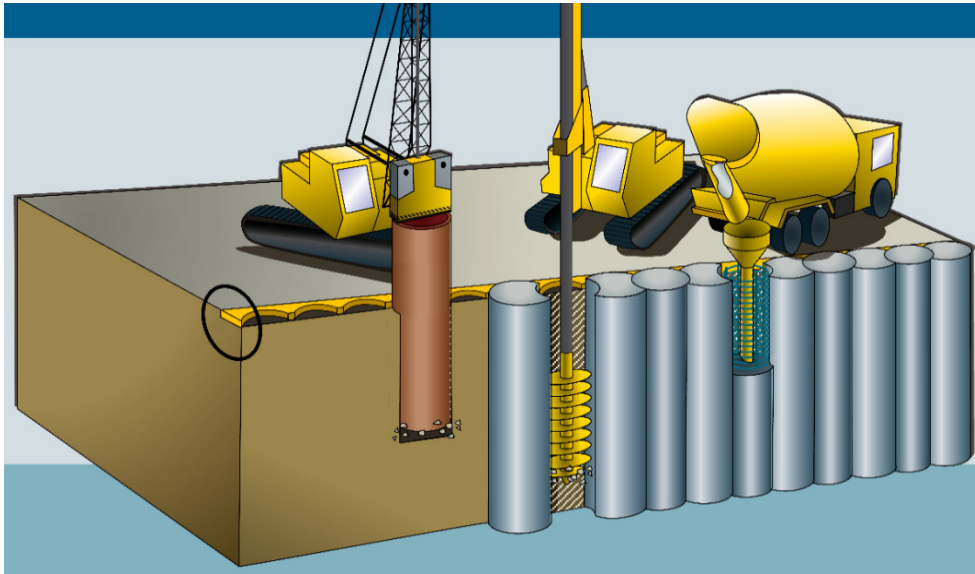
Utformningen av sekantpåleväggar är flexibel, eftersom pålarna inte behöver installeras i räta linjer och sammansättningen av betong och armering lätt kan modifieras under framdrivningen.

Vid höga krav på beständighet och täthet kan flera parallella och överlappande sekantpåleväggar konstrueras så att de sitter ihop i en enhet, överlappande både i längdled och tvärled. Vanligtvis är det dock mer ekonomiskt att gå upp i rördimension än att utföra parallella överlappande pålväggar.

Kontinuerlig utveckling av maskiner och material under de senaste åren har lett till att metoden kan tillämpas med förhållandevis god precision, även vid svåra markförhållanden. Jämfört med metoder som utnyttjar slagning eller kontinuerlig mejsling under neddrivning, så medför nedborrade foderrör för sekantpålar vanligtvis att

mindre sättningar och mindre vibrationer uppkommer än för jämförbara metoder. Pålarna kan därigenom utföras relativt nära befintliga, känsliga konstruktioner.

Vid anslutning till berg behöver dock pålarna enligt ovan ibland förankras i berg eller drivas ner i bergytan för att skapa en god kontaktzon vid trasigt ytberg. Mejsling medför områdespåverkan vid pålens grundläggning i form av kraftiga vibrationer.



Figur 2.1 - 4 Exempel på sekantpållevägg visande två olika installationsmetoder, med och utan foderrör. Vanligast är med foderrör, men om markförhållandena tillåter är den foderlösa metoden med skruvborr påtagligt billigare och snabbare. Bild från informationsbroschyr från Land Transport Authority, Singapore, från utbyggnaden av tunnelbanan vid China Town Station.

Sekantpålarna är vanligtvis dyrare att utföra än t.ex. spontning eller jetinjektering, men kan användas i områden där markens sammansättning eller intilliggande konstruktioner omöjliggör traditionell spontning. Metoden ger vidare ett betydligt mer kontrollerat resultat än för injektering av olika slag.

Metoden för att konstruera en sekantpållevägg kan översiktligt sammanfattas stegvis enligt följande:

1. Installation av styrbalk i markytan. Detta görs oavsett om pålarna skall utföras med foderrör eller inte.
2. Neddrivning av foderrör för primärpålarna (varannan påle, 1, 3, 5, 7 o.s.v.). Det totala antalet pålar, som utförs innan man går över till att installera mellanliggande sekundärpålarna, begränsas av borrhastighet och hur snabbt det går att gjuta pålarna. Primärpålarna får inte härda för länge innan sekundärpålarna skall borrar.
3. Gjutning av primärpålarna under uppdragning av foderrör. Vanligtvis borrar och gjuts en påle under punkt 2 i taget innan nästa påle påbörjas.
4. Neddrivning av foderrör för de överlappande sekundärpålarna in i de gjutna primärpålarna när dessa härdat lagom mycket (påle 2, 4, 6, 8 o.s.v.). En påle i taget borrar och armeras enligt nedan fram tills det att väggen färdigställts fram till den sista primärpålen.
5. Armering av de blivande sekundärpålarna.

6. Gjutning av sekundärpålarna (en i taget enligt punkt 4).
7. Nästa omgång av friliggande primärpålar påbörjas med start från punkt 1 tills det att väggen färdigställts. Här behöver tidpunkten för anslutningen till den sista av pålarna beaktas så att denna inte hårdar för länge.

2.2 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN

Några vanliga användningsområden för sekantpålar är följande:

- Grundvattenbarriär
- Stödmur
- Grundläggning och grundförstärkning
- Väggar i grundläggningskonstruktioner för byggnader
- Tunnlar
- Reservoarer under mark

2.3 FÖRDELAR OCH NACKDELAR MED SEKANTPÅLEVÄGG

De främsta fördelarna med en sekantpålevägg som tätning i fyllningsdammar och/eller undergrund kan sammanfattas enligt följande:

- Jämfört med en traditionell spontvägg är sekantpålarna styvare och vanligtvis är områdespåverkan utanför schaktet eller kring pålarna mindre än för jämförbara metoder.
- Pålarna kan installeras även vid svåra markförhållanden med sten och block där spontslagning är omöjlig.
- En pålvägg åstadkommer en tätvägg som kraftigt kan minska grundvattensänkning bakom väggen och reducera inströmningen till ett schakt bakom denna.
- Väl utförda kan pålarna installeras mycket nära intilliggande byggnader eller konstruktioner, utan att grundläggningen till dessa skadas.
- Vanligtvis uppkommer mindre buller under utförandet än för spontning eller pålning, om inte mejsling utförs i berggrund.
- Områdespåverkan är begränsad då pålen borras ner och installationen är mer kontrollerad jämfört med t.ex. spontslagning eller jetpelare. Goda möjligheter finns att med mätinstrument övervaka pålens läge i plan och djup med millimeternoggrannhet.

De främsta nackdelarna kan sammanfattas enligt följande:

- Det finns svårigheter med att hålla vertikala toleranser för djupa pålar. Vid stora djup krävs stor överlappning och kort centrumavstånd mellan pålarna. Avvikelserna är dock fortfarande normalt avsevärt mindre än vid spontslagning, där spontslagning är möjlig.
- Det kan vara svårt att få helt tätt i anliggningsytan mellan intilliggande pålar. Vatten kan sippra mellan betongytorna om deformationer uppkommer och får pålarna att böjas ut.
- Installationskostnaden är för nuvarande prisbild jämfört med spontväggar hög om installationsdjupet är mindre än 40 m. Metoden har för ytliga konstruktioner dock en nisch där det p.g.a. markens lagringstäthet eller steninnehåll gör att marken inte lämpar sig för spontning.
- Buller och vibrationer förekommer, dock inte högre än för normal byggentreprenadverksamhet. Förutom vid mejsling är ljudalstringen dock

jämförelsevis begränsad. Vibrationer uppstår vid mejsling och kan påverka vibrationskänsliga installationer.

2.4 KOSTNADSLÄGE

Kostnaden för en sekantpålevägg varierar kraftigt beroende på de lokala förutsättningarna, som t.ex. behov av armering och speciell betongsammansättning, grundvattennivå, djup och material som skall borrar igenom.

Sekantpåleväggar som applikation i fyllningsdammar kan normalt sägas vara ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ för komplicerade konstruktioner där enbart små deformationer kan tillåtas i dammen och dess grundläggning, samt där djupet överstiger 15 – 20 m.

Konkurrensen är fortfarande liten och prisbilden är också kopplad till tillgängligheten för stora riggar som klarar av att hantera denna typ av utrustning. Det finns bara en handfull riggar i Europa som kan utföra arbeten av den storlek och svårighetsgrad som gjordes i Spjutmo. Utvecklingen har dock varit gynnsam under de senaste åren och en fortsatt sjunkande kvadratmeterkostnad kan antas även i fortsättningen.

3 Praktikfall Spjutmo

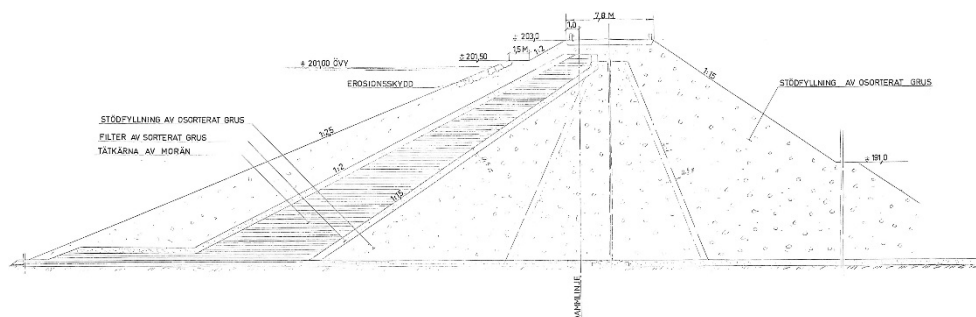
3.1 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

Spjutmo kraftstation i Dalälven tillhör konsekvensklass 1 och har en installerad effekt på 37 MW. Anläggningen är av genomströmningstyp och uppströmsvattenytan är i princip konstant över året. Kraftstationen använder en fallhöjd på 22 m och har varit i drift sedan 1969. Den består av en mindre vänster fyllningsdamm, intags-, och utskovskonstruktion i betong, samt den största dämmande konstruktionen, höger fyllningsdamm.



Figur 3.1 - 1 Plan över Spjutmo kraftstationsanläggning.

Höger fyllningsdamm är ca 20 m hög över lägsta grundläggningsyta och är till större delen grundlagd på naturliga marklager, som under arbetets gång konstaterades ha ett största djup på totalt 37 m till berg vid anslutningen till åsen på höger sida.

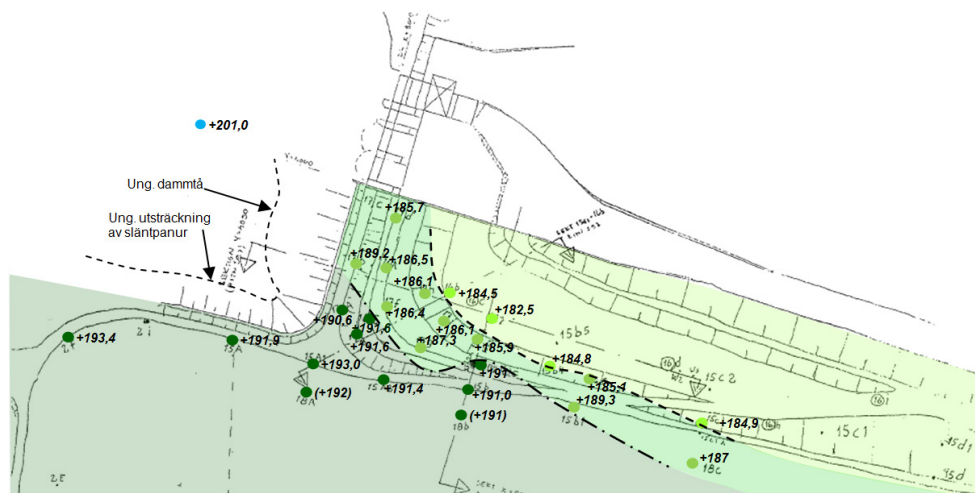


Figur 3.1 - 2 Tvärsektion av höger fyllningsdamm, normalsektion i sektion 0/100.

Dammens dämmande konstruktion består av en lutande tätkärna av morän, vilken övergår till att vara vertikal i anslutningen till betongkonstruktionerna, se Figur 3.1 - 2.

Figuren visar normalsektion med lutande tätkärna och delen närmast betongkonstruktionen med central, vertikal tätkärna inprojicerad.

Dammen ansluter i sin högra ände till en grusås som löper längs älvens högra sida. Bara närmast betongkonstruktionerna är tätkärnan grundlagd på berg, se plan i Figur 3.1 - 3. För att förlänga läckvägen under dammen är dammens tätkärna ansluten till en panur som sträcker sig ut över magasinets botten och runt höger anslutning mot grusåsen.



Figur 3.1 - 3 Grundvattennivåer kring dammen och anslutningen till åsen.

Det har under tidigare års undersökningar konstaterats föreliggande svagheter i höger fyllningsdamm. Vid en inspektion 2010 noterades flera avvikelser i den tätande funktionen. Under 2013 konstruerades en ny dammtätning i Spjutmo, som i sin helhet ersätter den befintliga. Detta är den första dammreparationen som utförts med sekantpålar i Sverige.

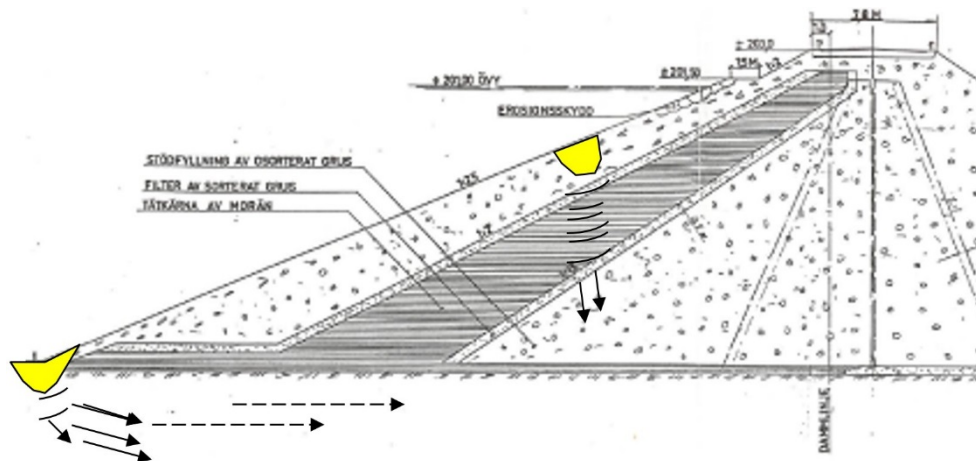
3.2 NOTERADE AVVIKELSER OCH OMEDELBARA ÅTGÄRDER

Instrumenteringen av dammen har sedan idrifttagandet i huvudsak bestått av ett antal vattenståndsrör i och kring fyllningsdammen. På grund av nedströmssvattenytans nivå och djupet på de naturliga marklagren har det inte varit möjligt att mäta läckage fysiskt. Då fyllningsmaterialet på dammens nedströmssida ner till älven har hög hydraulisk konduktivitet och är motdämt så har reaktionen i befintliga vattenståndsrör på variationer i läckageflödet inte gått att registrera.

I samband med en fördjupad undersökning av anläggningen hösten 2010, efter det att insjunkningar i uppströmsslänten noterats 2006 vid en dykarinspektion, genomfördes en uppföljning av skadeområdet med ekolodning med multi-beam sonar. Denna visade på flera genomslag i panuren, både på magasinets botten och i dammens uppströmsslänt, se Figur 3.2 - 1, 3.2 - 2 och 3.2 - 3.

Skadorna yttrade sig som sjunkhål av varierande storlek, i vilka vatteninströmning kunde noteras vid en påföljande dykarundersökning. Utifrån skadornas lägen bedömdes det förekomma vattenströmning och materialförlust dels genom den

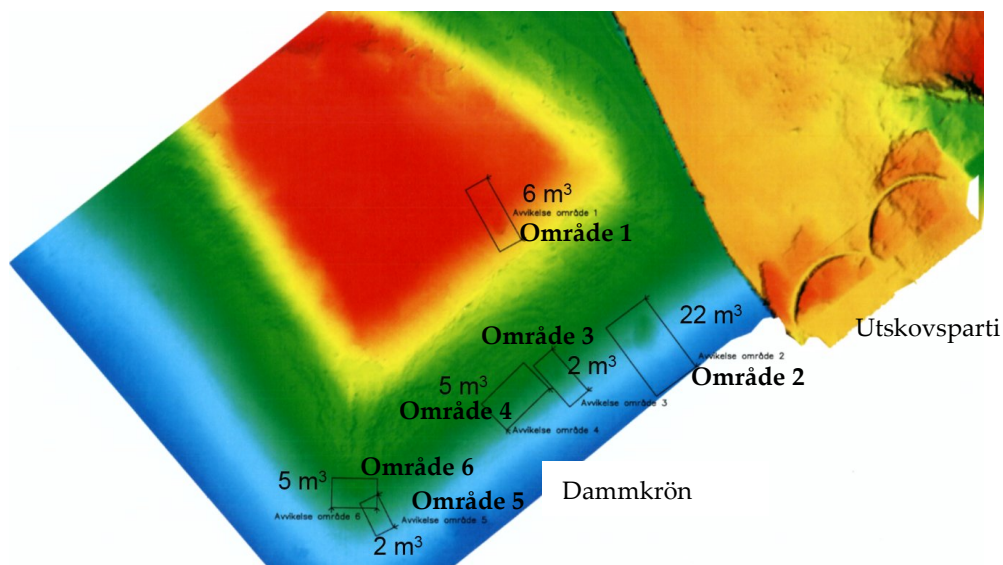
lutande tättkärnan och dels genom skador i panuren och vidare genom dammens undergrund.



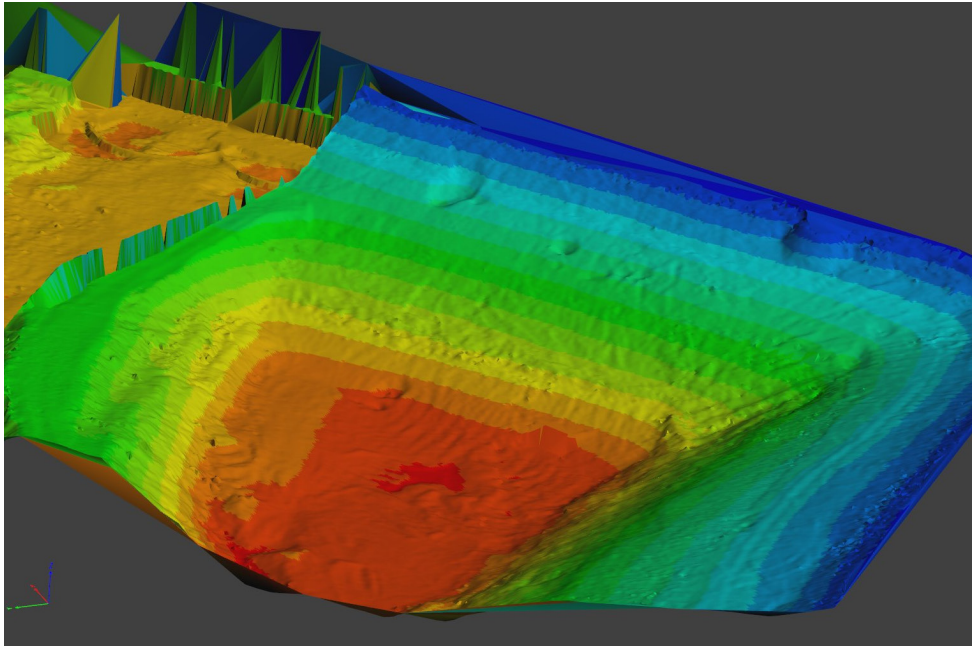
Figur 3.2 - 1 Ungefärliga lägen för två av de större skadorna i uppströmsslänten och antagen utbredning för materialtransporten mot dammens nedströmssida. Läckagevägen för den övre skadan kan även vara horisontell genom dammens tättkärna.

Redan 2006 hade en insjunkning i övre delen av uppströmsslänten noterats, markerad som område 2 i Figur 3.2 - 2. Denna insjunkning återfylldes vid upptäckten med Rådasand av fraktionen 0,4 – 0,6 mm, oklart hur mycket. Det antas att det är samma skador som i detta läge noterades ha återkommit 2010. Det finns även viss äldre dokumentation om tidigare förekomst av sjunkhål i uppströmsslänten.

Omfattningen och läget för dessa äldre skador och reparationsmetoderna som använts framgår dock inte av den dokumentation som finns bevarad från tidigare ägare eller driftpersonal. Det är oklart när skadorna först uppträdde. Markerade skadepunkter djupare ner i magasinet var sannolikt okända sedan tidigare.



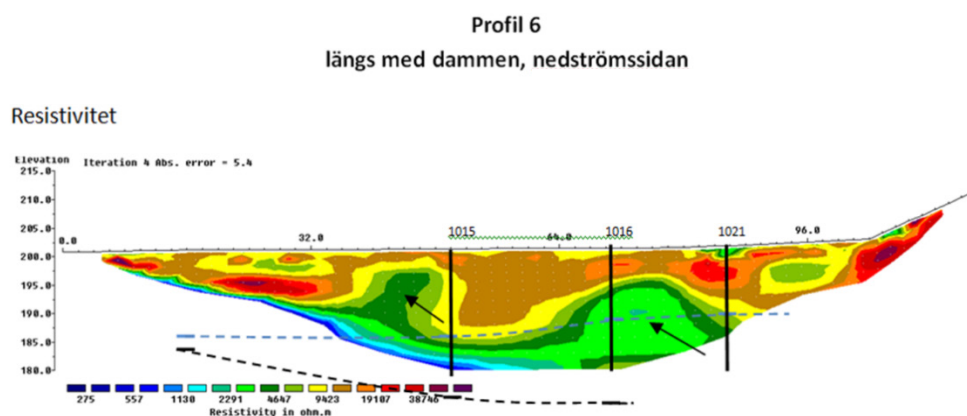
Figur 3.2 - 2 Storlek och lägen för skador i panur och uppströmsslänt enligt ekolodning 2010.



Figur 3.2 - 3 Ekolodning av uppströmssidan av höger fyllningsdamm. Avvikelse syns som fördjupningar i slänt och dammfot.

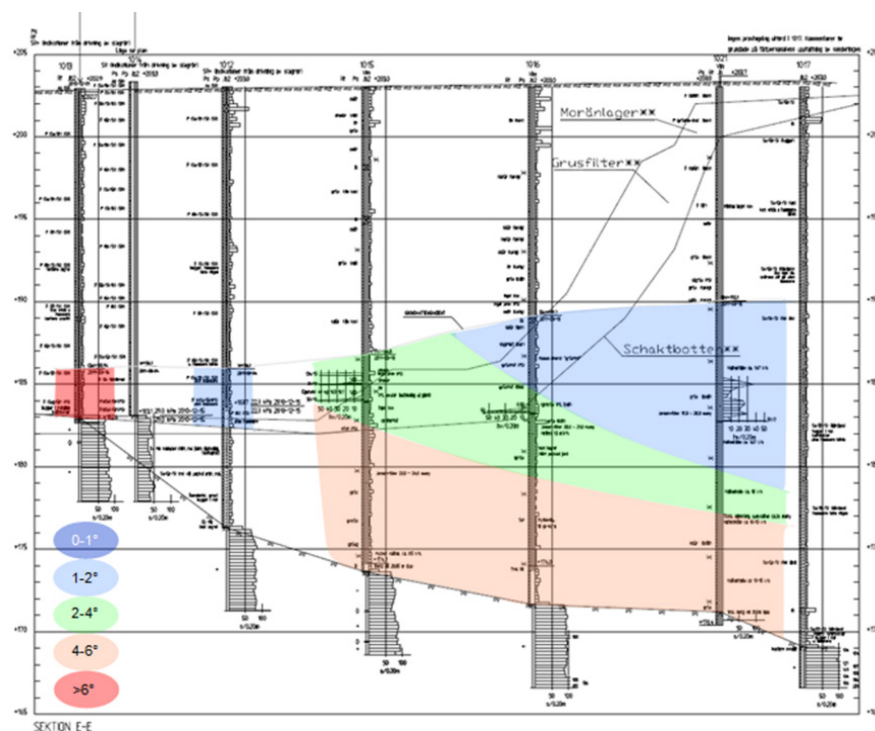
Ett undersökningsprogram innefattande temperaturmätningar i vertikala rör påbörjades för att försöka upptäcka och lokalisera läckagevägar genom och under dammen.

Även resistivetsmätning utfördes i 3 profiler längs dammkrönet och i 3 profiler på dammens nedströmssida vinkelrätt mot dammkrönet. Figur 3.2 - 4 visar uppmätta resistivetszoner i uppströmssidan av dammkrönet. Varierande materialegenskaper mellan grövre och finare fraktioner och låg vattenmättnadsgrad försvårar tolkningen och ger ingen klar bild av flödesförhållandena.



Figur 3.2 - 4 Resistivetsmätning i dammens längdsektion strax nedströms krönkant. Tre vattenståndsrör syns i längdsektionen. Data från dess användes för att korrelera resistivetsmätningen.

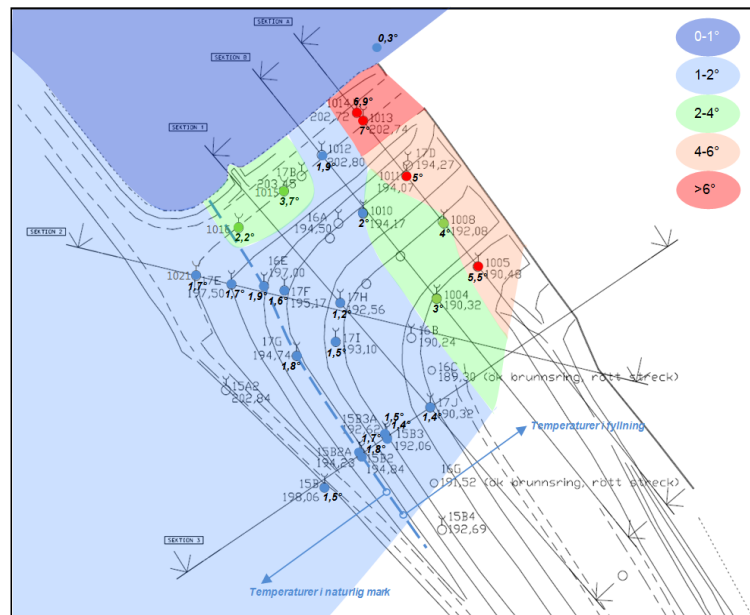
Genom temperaturmätningar på olika nivåer gick det att identifiera zoner längs dammlinjen med strömning eller förhöjd omsättning av vatten, se Figur 3.2 - 5 och 3.2 - 6. Det huvudsakliga flödet bedömdes ske genom åsmaterialet, samt i en sektion 30 till 40 m från utskovsväggen, såsom varande relaterat till observerade sjunkhål. Övervakningen i grusåsen på höger sida visade att grundvattennivåerna där i huvudsak varit oförändrade under dammens drifttid.



Figur 3.2 - 5 Längdsektion genom höger fyllningsdamm. Utskovskonstruktionen ligger till vänster och till höger ansluter dammen till glaciala åsavlagringar. Längdsektionen visar bergnivå som den registrerades vid sondering inför åtgärd. Skaktbottenyta visar ungefärligt läge för ursprunglig grundläggning. Färgerna visar uppmätta temperaturer i vattenståndsrör i mars 2011. Högre temperatur indikerar långsammare genomströmning, såsom närmast utskovsväggen till vänster.

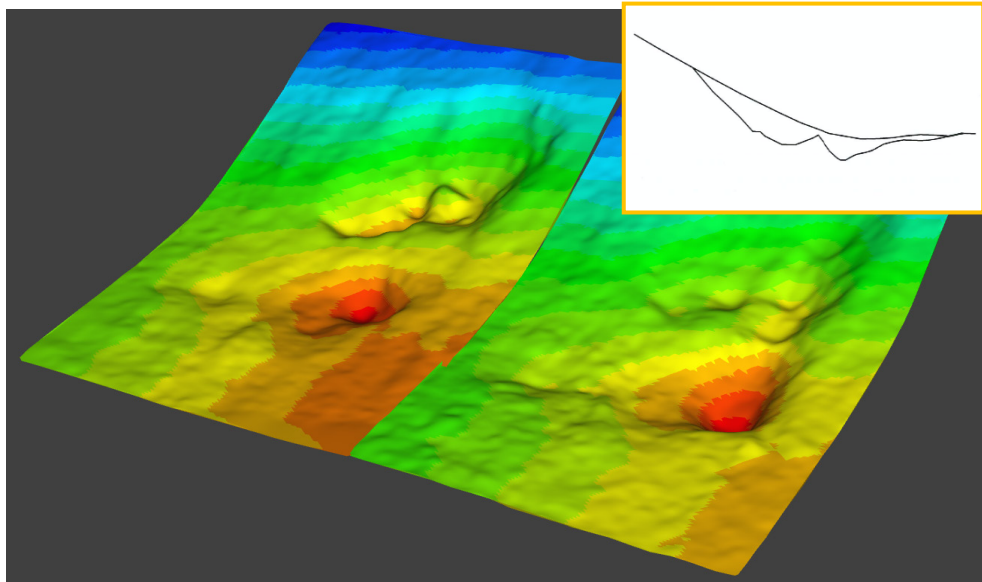
Under november och december 2010 återfylldes samtliga påträffade skadeområden med i huvudsak Rådasand med fraktionerna 0,2 – 0,8 mm. Dessutom avsänktes magasinet tillfälligt med 1 m. Önskvärt hade varit att ytterligare sänka av magasinet. Detta visade sig dock vara komplicerat ur juridisk synpunkt då risken för dammbrott inte bedömdes vara omedelbart överhängande. Den Rådasand som fyllts i sjunkgroparna täppte till hålen i slänt och panur så att inströmningen stoppades, vilket kontrollerades med dykare vid återkommande tillfällen.

Totalt fylldes ca 35 m³, ca 60 ton, mestadels Rådasand i sjunkhålen i två omgångar efter det att en del av sanden sugits in i sjunkhålen under veckan efter den första ifyllningen. Vid den andra ifyllningen övergicks successivt till 1 mm sand, då något definitivt stopp för inträngningen av den finkornigare sanden inte uppstod. Den andra ifyllningen avslutades med att de ifyllda skadorna överfylldes med grövre sandmaterial. De utlagda högarna markerades med stakkäppar för att lättare kunna notera och mäta in eventuella förändringar.



Figur 3.2 - 6 Temperaturfördelning i plan på nivå +184 i mars 2011. Ju lägre temperatur desto större genomströmning. Den blå zonen mellan de röda och gröna partierna antyder en trolig större genomströmning än i de omgivande partierna. Det framgår även att vattenomsättningen närmast utskovsväggen är låg.

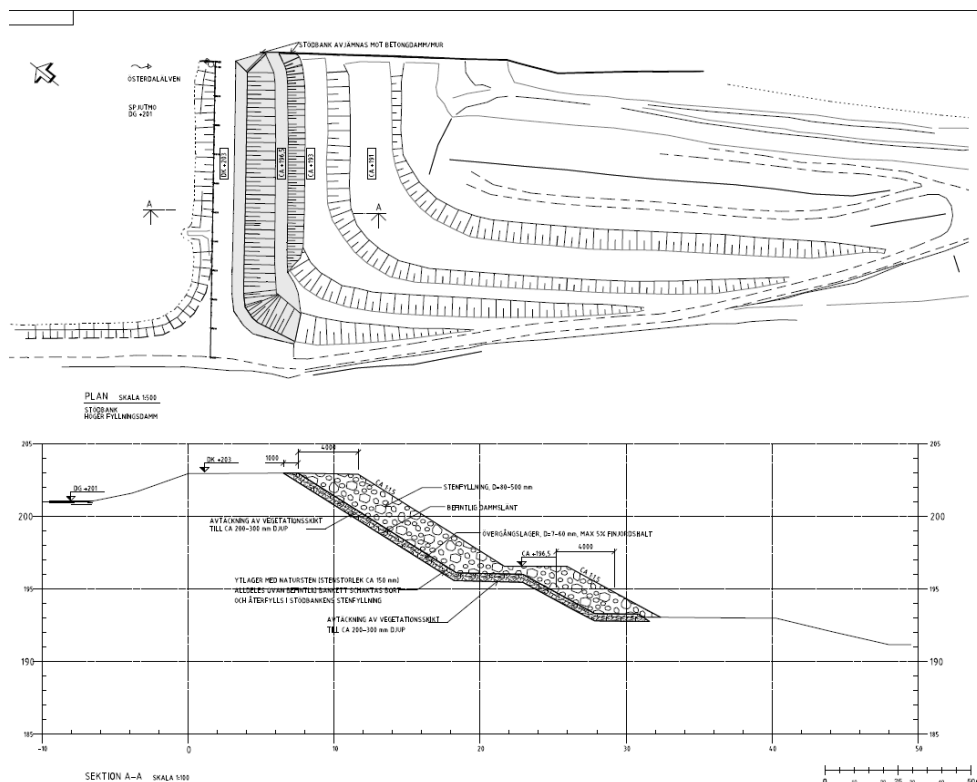
Mellan de olika ifyllningarna och efter dessa utfördes ekolodning för att dokumentera eventuella förändringar. En jämförande inmätning framgår av Figur 3.2 – 7.



Figur 3.2 - 7 Jämförelse mellan två på varandra följande ekolodningar, visande en fortgående materialförlost. Tvärsektionen är tagen genom fördjupningen för att enklare kunna jämföra förändringar. Volymen av sjunkhålen mäts direkt i modellen.

Idealt hade varit att fylla de öppna läckagevägar och hålrum i undergrunden, som uppkommit till följd av skadorna genom panuren och tätkärnan, med material (sand med lämplig kornfördelning) som skulle fungera som filter och förhindra att sjunkhålen förstoras. Sanden som fylls i sjunkgroparna skall helst tränga in så långt som möjligt från utläggningen i skadepunkten och fylla läckagevägen. Inträngningens längd beror av hur kraftigt inflödet genom sjunkhålet är och på sandens kornstorlek.

Om inströmningen är kraftig i skadeområdet är det lämpligt att använda en något större kornstorlek än Rådasand, som inte lätt transporteras bort genom de uppkomna läckagevägarna, utan som fyller hålrummen på vägen och skapar ett stabilt kornskelett. Sand av finare fraktion kan därefter infiltreras, vilken successivt tätar mot det grövre sandmaterialet. Detta är dock en osäker och svårövervakad process.



Figur 3.2 – 8 Tvärsektion i dammens normalsektion visande stödbanken på dammens nedströmssida.

Vid infiltrationen 2010 försvann ansevära mängder av Rådasand in i sjunkhålen, varvid man successivt fick gå över till grövre fraktioner för att stoppa inströmningen. Detta tolkades på två sätt. Antingen så var läckagevägarna välutvecklade, eller så var den naturliga kornfördelningen på djupet i något permeabelt lager under dammens grundläggningsnivå sådan att Rådasanden kunde infiltrera in i denna och minska den naturliga porositeten.

Åtgärden att infiltrera finsand gjordes som en akut åtgärd för att bromsa koncentrerade inflöden och skapa tid för mer permanenta åtgärder. Permeabiliteten i tätkärnan och panuren kan inte återställas genom denna metod, men den kan tillfälligt förhindra att skadeförloppet accelererar. Efter färdigställd åtgärd genomfördes dykningar och ekolodningar regelbundet för att övervaka eventuella fortsatta förändringar.

En stödbank lades våren 2011 ut på dammens nedströmssida, bestående av ca 3500 m³ stenmaterial och övergångslager som passade mot den befintliga sandiga stödfyllningens yta, se Figur 3.2 - 8. Syftet med påfyllningen var dels att säkra dammen mot ett omedelbart brott om skadeförloppet skulle accelerera och dels att bredda krönet så att erforderligt utrymme skulle finnas för arbetsmaskiner på krönet vid den kommande reparationen av dammen.

Åtgärderna planerades mot bakgrunden att dammen avsågs att åtgärdas under drift med magasinet vid eller nära dämningssgräns. I samband med utförandet av stödbanken lades kablager i dammkrönet om till en kanal i nedströmskanten av den nya stödbanken.

3.3 SKADORNAS UPPKOMST

Vid en analys av uppgifterna från byggtiden konstaterades att panuren på magasinets botten saknar adekvata filter mot den naturliga undergrunden. Skadan i område (1), se Figur 3.2 – 2, kan ha uppkommit på grund av att finmaterial från panuren spolats ner i undergrunden, pådrivet av den höga gradienten över panuren då området under denna dräneras mot nedströmssidan. Material från panuren och finare material i undergrunden har därefter sannolikt transporterats nedströmsåt under panuren och tåtkärnan och avsatts i zoner med högre porositet och där gradienten är lägre.

Även kontaktersion kan ha förekommit mot panurens undersida då strömningshastigheten i det grövre materialet i undergrunden kan ha överstigit erosionsmotståndet för det finkornigare material som panuren är uppbyggd av.

Eftersom material försvunnit från panuren har detta uppenbarligen transporterats en viss sträcka över vilken vattenhastigheten, pådriven av gradienten, är tillräckligt hög. Det eroderade materialet deponeras därefter när vattenhastigheten sjunkit, vilket kan inträffa när en öppen läckageväg under panuren mynnar nedströms i fyllningsmaterial eller i naturligt material med högre porositet. Grundvattenmätningar visade att gradienten från skadorna i panuren vid dammens fot, fram till dammlinjen och till nedströmssidan är mindre än 1:50, vilket är lågt för att transportera material av aktuella fraktioner och mängder.

Materialet från panuren och Rådasanden borde därför inte ha transporterats någon längre sträcka. Genom att gradienten minskar kraftigt nedströms om skadorna i panur och tåtkärna är det enligt ovan naturligtast om den infiltrerade sanden hade avsatts i närområdet nedströms skadorna.

Vid utförandet av sekantpålarna påträffades dock flera kubikmeter Rådasand i väggens linje (invid dammlinjen) bl.a. kring påle 20 och 21, vilket tyder på att sanden transporterats upp till 70 m från inströmningspunkten vid uppströms släntfot. Detta är anmärkningsvärt långt med tanke på gradienten fram till dammlinjen och tyder på att öppna kanaler med påtagligt hög vattenhastighet förekommit från skadeområdena och fram till dammens nedströmssida. Vid fältundersökningarna observerades strömmande vatten i undergrunden i läget för vissa av vattenståndsrören, vilket stödjer bedömningen att öppna läckagekanaler med relativt fri vattenströmning kan ha förekommit.

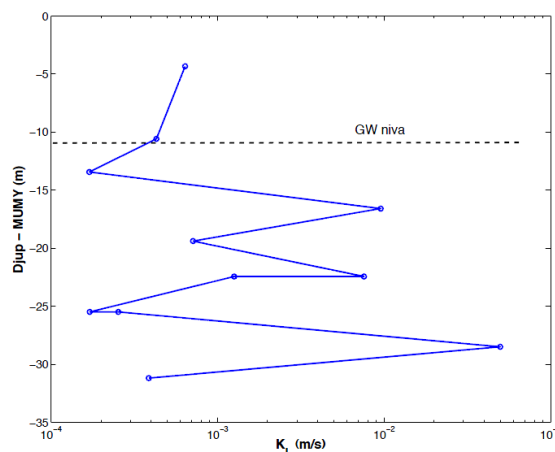
Materialtransport i en öppen läckageväg i undergrunden är troligen inte kontinuerlig, utan accelererar och avstannar vanligtvis allt eftersom transporterat material avsätts

och bildar tillfälliga pluggar. Dessa igensättningar lossnar efter en viss tid pga. ökat tryck uppströms om dessa och inre erosion i pluggarna.

Påfyllningen av Rådasand visade att läckvägen inte var mer öppen än att denna sand, i varje fall tillfälligt, kunde sätta igen läckagevägarna. Det kunde dock inte fastställas om läckagevägarna verkligen sattes igen, eller om det tillfälliga stoppet i läckageflödet berodde på att en tillräckligt stor plugg av sand placerats över och närmast under inläckageområdet. Efter det att väggen färdigställdes kunde det konstateras att trycket inte steg på uppströmssidan av denna. Detta indikerar att inläckagepunkterna verkligen hade tätats tillfredsställande och att vattenströmningen genom åsen, dränerande området mellan panuren och den nya tätväggen var större än den från panurens uppströmssida och in mot den nya väggen.

Sjunkhålen i uppströmsslänten (område 2), se Figur 3.2 – 2, har sannolikt uppkommit genom urspolning av finmaterial från tätkärnan där det smala nedströmsfiltret (endast 0,5 m enligt ritning) troligen inte uppfyller filterkriterierna, t.ex. genom att separation uppstått vid utläggningen. Ovanpåliggande stödfyllningsmaterial har därefter följt efter och ett sjunkhål bildats i uppströmsslänten. Tyvärr finns det inga kornkurvor från byggtiden för dessa områden, varken för tätjord, filter eller stödfyllning, varför förloppet inte kunnat utvärderas närmare.

Vid de fältundersökningar som genomfördes inför planeringen av åtgärder, konstaterades dock att den hydrauliska konduktiviteten på vissa nivåer i nedströms stödfyllning översteg 5×10^{-2} m/s, vilket är påfallande högt för en grusfyllning, se Figur 3.3 - 1. Den horisontella konduktiviteten i både naturligt och stört material bedömdes vid fältundersökningarna vara en tiopotens större än den vertikala. Fältundersökningarna fick av praktiska skäl koncentreras till området nedströms om dammlinjen.



Figur 3.3 - 1 Uppmätt hydraulisk konduktivitet i borrhål i nedströms stödfyllning. Y-axeln visar djup under markytan i borrhålet som provningarna utfördes i.

Fältundersökningarna konstaterade att såväl stödfyllning som naturligt material i undergrunden bestod nästan uteslutande av friktionsmaterial. Dessa material har svårt att valvbilda och hålla en läckageväg öppen. Utifrån detta bedömdes det troligt att den huvudsakliga läckageströmningen förekom i mer eller mindre horisontella, materiallager med hög konduktivitet, i vilken Rådasanden kunnat tränga in i håligheter. Dessa

grova materiallager kan genom de borrhningar och undersökningar som genomfördes antas ha en oregelbunden och svårtolkad utbredning. Detta betyder inte med nödvändighet att förlust av finmaterial skett i dessa materiallager, utan kan innebära att den infiltrerande sanden i huvudsak fyllt naturliga håligheter.

Pga. den varierande sammansättningen av stödfyllningen och undergrunden gick det inte att fastställa exakta vägar för läckaget från inläckagepunkten i dammens tätning och fram till det att det blandade sig med den naturliga grundvattenströmningen från åsen på nedströmssidan, innan vattnets återgång till älven under nedströmsvattenytan. De analyser som genomfördes, baserade på temperaturmätningar i vertikala vattenståndsrör och resistivitetsmätning, visade på vissa områden med förhöjd strömning i dammkroppen och nedströms om denna, dock inte exakt i tvärsektionerna för de konstaterade inläckageområdena, se tvärsnitt i dammlinjen i Figur 3.2 - 4 till 3.2 - 6.

Utifrån skadebilden och de indikationer som fanns om utvecklade läckagevägar bedömdes det troligt att förnyade skador skulle uppkomma successivt med nya genomslag i panuren och tatkärnan. Främsta orsaken bedömdes vara bakåtskridande erosion från panurens undersida och tatkärnans nedströmssida mot bristfälliga filter eller grov undergrund, särskilt där gradienten är hög.

För att säkerställa dammens framtida funktion bestämdes det därför att ersätta hela den tätande delen av höger fyllningsdamm med en ny avskärande konstruktion nedströms om den befintliga tätningen. Ett antal olika lösningar utvärderades inför beslutet om permanent åtgärd.

3.4 UTVÄRDERING AV FÖRESLAGNA REPARATIONSMETODER

3.4.1 Allmänt

Ett flertal metoder för att permanent täta dammen utreddes innan slutligt metodval gjordes. Av de förslag som bedömdes som relevanta gjordes en jämförelse av för- och nackdelar med metoderna, utifrån de lokala förhållandena i Spjutmo. De alternativa förslagen och ett antal av de tekniska urvalskriterierna som ledde fram till valet av sekantpålevägg beskrivs kortfattat nedan.

Följande huvudsakliga alternativ diskuterades:

- Stålrörsspont
- Jetpelare
- Sekantpålar
- Slitsmur
- Injektering
- Membran över sjunkhålen

De fyra första av dessa lösningar utgörs av en tätvägg, bestående av element av en viss dimension, satta sida vid sida och avsedda att ersätta den befintliga tätningen i sin helhet.

Elementen som sådana kan i stort sett göras täta, medan största risken för otätheter finns i skarven mellan dessa element. I läckande partier mellan elementen kan vattenhastigheten bli hög och finmaterial från uppströmssidan kan spolats bort. Om detta material kommer från tatkärnan kan nya sjunkhål uppstå i uppströmsslänten och i dammkrönet, även om elementen kan konstrueras så att detta inte medför någon risk

för dammsäkerheten. Möjligheterna till tätning mellan de olika elementen var därför av speciellt intresse.

I princip kan alla dessa fyra metoder betraktas som täta, även om en tätskärm av jetpelare är svårare att göra tät och homogen än övriga och dess verkliga utbredning är svårare att verifiera än för övriga metoder. Väggar av jetpelare och sekantpålar är styvare än i de andra alternativen och när ensidigt vattentryck byggs upp uppstår moment i pelare respektive pålar, vilket medför risk för sprickbildning på grund av deformationer som behöver kontrolleras.

Sekantpålar kan dock armeras till skillnad från jetpelare. En stålörsspont motstår större deformationer än en betongpåle eller jetpelare. En slitsmur kan göras mer plastisk genom att variera förhållandet cement/bentonit och är därmed mindre böjstyv. Det behövde även beaktas att den nya tätningen skulle kunna ansluta till betongkonstruktionerna på vänster sida, vilka är en styv konstruktion.

3.4.2 Stålörsspont

För arbetena övervägdes en stålörspålevägg uppbyggd av örppålar typ RD320, vilket anger diametern i millimeter. Stålörssponten sätts med spontlås, som normalt resulterar i låg vattengenomsläpplighet, särskilt i finkornig jord men något högre i grovkornigt material och hög hydraulisk gradient. Vattentätheten kan förbättras genom att fylla spontlåset med bitumenmaterial och ytterligare genom att injektera jordmaterialet kring spontlåset.

Örppålarna borrar med sänkborrhämmare, vars ringborrkrona har en diameter på 383 mm, för att ge plats åt de två påsvetsade flänsarna för anslutningen till intilliggande pålar. Borrningen sker med föregående påles fläns som styrande gejder då flänsarna är utformade med hane och hona. Borrningen bör för arbeten i damm utföras med vatten-driven sänkborrhämmare, som gör det genomborrade materialet mindre än en luft-driven hammare. Alternativet med vattendriven sänkborrhämmare och RD320 kan nå till ett maximalt djup av 24 m utan att stålörren behöver skarvas. Då det redan innan arbetena inleddes var känt att det maximala djupet till berg översteg 30 m innebar detta att skarvning skulle vara erforderlig av stålörspålarna om väggen skulle ansluta mot berg vilket inte var beslutat i det inledande skedet av projekteringen.

Störst områdespåverkan orsakas av att borrhålet har en större diameter än den nedsatta stålörpålen, vilket kräver fyllning med injektering på rörets utsida för att undvika att en läckageväg uppkommer längs pålens yta, eller att nya läckagevägar mot pålväggens ändrar öppnas upp. En viss igensättning av hålligheten från överborrningen kan dock påräknas genom att utrymmet utanför pålen fylls med borrhax under neddrivning och att den kringliggande marken sjunker ihop. Det är dock inte säkert att borrhaxet är stabilt och för att säkerställa erforderlig tätning bör injektering utföras åtminstone i den del av pålarnas yta som sitter i befintlig tätkärna.

Fördelar

- Närheten till dammslänt i övre delen av dammen är inte ett problem vid utförandet, till skillnad från bl.a. injektering och jetpelare, som påverkar en större jordvolym vid utförandet och kräver ett större mothåll från sidorna.
- Stålörsspont kan sättas oberoende av vattenströmning i damm eller undergrund, då den inte har ett medium som är vattenlösligt, utan fylls invändigt först efter det

att pålen borrats på plats. Gjutning är inte nödvändig utan rörpålen är en tätande enhet i sig.

- Stålrören kan fyllas med betong för att ge lång livslängd.
- Stålsfontväggen tillåter dragspänningar utan att spricka när väggen deformeras av vattenlast på uppströmssidan. Inga genomgående sprickor uppkommer.
- Pålarna har mycket lång hållbarhet.
- God vertikalitet och kontroll på hur väggen placeras i dammen.

Nackdelar

- Den täta och smala väggen tvingar flödet att gå under eller vid sidan av väggen med ökade gradienter jämfört med tjockare väggar och eventuellt risk för inre erosion vid väggens kanter, t.ex. i höger sida i anslutningen till åsen, om inte tätningen kompletteras med en avslutande jordinjektering vid väggens ända.
- Överborrning med krona åstadkommer en viss sättning kring pålen. Detta utrymme bör fyllas så att ingen läckageväg uppträder över ytan mot spontväggen och deformationer uppkommer i dammkroppen vid omlagring av fyllningsmaterial.
- RD-pålar kan borrar in i berget och är ur denna synpunkt positiva, men har enligt ovan nackdelen av att de lämnar en ringformad spalt längs pålen och anslutningen i berg som måste tätas noggrant genom injektering.
- Om en erosionskanal kapas till en viss del vid montering av ett rör kan gradienten och strömningshastigheten öka kraftigt i den kvarvarande delen av erosionskanalen och öka erosionen.

3.4.3 Jetpelare

Jetpelare utförs genom att en borrarstång med injekteringsmunstycken i den nedre änden borrar ner till det djup där pelaren underkant avses installeras. Roterande uppdragning sker sedan långsamt under det att kraftig insprutning av en cementblandning utförs. Detta bedöms vara den metod där det är svårast att dokumentera erhållen kontakt mellan pelarna.

Fördelar

- Befintligt material används genom att det blandas med cement. Det blir till skillnad mot övriga metoder av tätväggar inga överskottsmassor som måste borttransporteras.
- Arbetet kan utföras till en begränsad höjd i fyllningen om så skulle vara av intresse. Väggen behöver inte utföras ända till dammens krön.

Nackdelar

- Stora variationer i det befintliga materialet i damm och undergrund gör det svårt att kontrollera slutlig pelardiameter och garantera att jetpelarväggen blir tät.
- Svårt att erhålla önskvärd effekt vid borring invid block som inte strålen kan flytta. Skuggor av oinjekterade områden kan uppkomma bakom dessa.
- Strömmande vatten kan påverka kvaliteten på utförandet då cementbruk kan spolats bort under arbetena.
- Större risk för miljöpåverkan än övriga metoder där betongen tillförs på ett mer kontrollerat sätt.

- Avståndet mellan jetpelare och tätkärna, respektive nedströmsslänt, är litet i övre delen av dammen vilket tillsammans med lågt överlagringstryck kan göra det svårt att utföra kontrollerad jetinjektering i dammens övre del.

3.4.4 Sekantpålar

Sekantpålar som borras med överlappning mellan sekundär och primärpålar ger en tät vägg. Kompletterande injektering kan vid behov utföras i anslutningen mellan intilliggande sekantpålar, eller mot grundläggningsyta. Generellt uppkommer en god kontakt mot berg direkt vid gjutning, utan att kompletterande injektering är erforderlig.

Två olika varianter av sekantpålar utvärderades. En borrar metod använder ett foderrör som roteras ner medan materialet inne i foderröret tas upp med gripskopa. Den andra metoden använder också foderrör, men upptagningen av material föreslås att utföras med skruv. Skruven kan vara effektivare för att rensa rörbotten, men dess dimension begränsar den maximala stenstorleken som kan tas upp i foderröret. Metoden med gripskopa är mer beprövad internationellt och då den bedömdes som säkrare i det material som finns i och under dammen valdes metoden med gripskopa.

Fördelar

- Borring med krona och foderrör och borttagning av materialet inuti röret ger liten störning i omgivande material.
- Strömmande vatten är inte ett större problem. Vid borring under grundvattenytan i dammkroppen kan det dock vara nödvändigt att hålla borrhålet vattenfyllt upp minst till nivån för grundvattenytan för att undvika risken för bottenuppträckning inne i foderröret.
- Pålarna kan armeras om så behövs för att öka väggens styvhet och hållfasthet.
- Foderröret kan penetrera till berg och ansluta till berg med mejsling. Det fanns ingen uttalad begränsning i djupled för fallet Spjutmo, utan om berget lokalt visade sig vara beläget avsevärt djupare än antaget så kunde foderrörsdrivningen fortsätta till större djup, tills bergkontakt erhöles.
- Borring med foderrör och gripskopa, med möjlighet att använda mejsel, innebär små risker för avvikelser i vertikalitet eller att inte nå avsett djup pga. block i fyllningen eller i undergrunden.
- God täthet mellan påle och omgivande material erhålls genom att betongen vid gjutning flyter ut mot kringliggande fyllning vid uppdragning av foderröret.
- Betongen kan ges sådana egenskaper att den flyter ut lagom mycket vid gjutningen och tätar mot omgivande material, samt fyller ut eventuella håligheter intill pålen. Detta ger en möjlighet att återfylla erosionskanaler i omedelbar närhet av pålen, vilket minskar risken för framtida sättningar.
- Goda internationella erfarenheter finns från installationer av sekantpålar till stora djup i motsvarande material i dammar med den för Spjutmo föreslagna påldimensionen.

Nackdelar

- Metoden kräver stor arbetsbredd och arbetsyta för maskiner och befintlig krönbredd av dammen behövde ökas. Detta avviker inte markant från förhållandena för stålrörspålar eller slitsmur.
- Sekantpålarna utgör en styv konstruktion inuti fyllningen och skall överföra vattenlast till nedströmssidans fyllning. Detta medför att spänningar och

deformationer uppkommer. Detta skiljer sig inte nämnvärt mot frågeställningarna för t.ex. rörpålar som är flexibla, men kan eventuellt vara ett problem.

3.4.5 Slitsmur

En grävd slitsmur utförd med primär- och sekundärpaneler bör normalt bli tät. Detta görs med schaktning i ett slurryfyllt dike. Stickans längd på grävmaskinen avgör maxdjup.

Fördelar

- En plastisk slitsmur kan utföras som en tät vägg genom att sekundärpanelerna schaktas in i och ansluts till utförda primärpaneler.
- God anslutning mot kringliggande fyllning då schaktning utförs med flytande slurry i diket.

Nackdelar

- Strömmande vatten och öppet grusmaterial kan göra att den stödjande bentonit-suspensionen läcker ut ur slitsen under schaktningen. Om trycket faller i slitsen riskeras att denna kollapsar. Detta är normalt inte ett stort dammsäkerhetsproblem, men är tids- och kostnadsdrivande och gör det osäkert om en sammanhängande tätvägg kan erhållas.
- Avståndet mellan slitsmur och nedströmsslänt är litet i övre delen av dammen, vilket kan medföra läckage av slurry mot slänten.
- Svårt att gräva slitsen till erforderligt djup med konventionella maskiner.
- Schaktning utförs delvis i blindo och ingen uppfattning erhålls om kontaktytan mot berg. Ingen enkel möjlighet att notera och åtgärda trasigt ytberg.
- Större risk för miljöpåverkan än för t.ex. sekantpålar eller rörpålar pga. den lösa suspensionen i slitsen.
- Jämförelsevis hög kostnad beroende på de lokala förhållandena.

3.4.6 Vertikal tätvägg av injektering i dammlinjen

Som ett alternativ till att ersätta den befintliga tätningen diskuterades möjligheterna att istället reparera panuren och tätkärnan. Injektering av befintliga skadeområden kan förhindra materialtransport om områden med hög porositet och höga flöden behandlas. Detta bedömdes av praktiska skäl vara väldigt svårt, speciellt vad det gällde åtkomsten av de skadade områdena ute i magasinet.

Alternativt diskuterades en injekteringsskärm i dammlinjen i samma läge som en tätvägg. En injekteringsskärm som är tät i dammlinjen skulle bygga upp ett vattentryck på uppströmssidan om denna, vilket skulle minska gradienten över panuren. Därmed reduceras risken för uppkomst av sjunkhål och att erosionskanaler fortsätter att utvecklas längre nedströmsåt.

För att injektera identifierade svaghetszoner krävs att vattnets hastighet är lägre än ca 25 mm/s för mer vanligt förekommande injekteringsbruk; annars spolas bruket bort med vattenströmningen. Det finns dock moderna polyuretaner som möjliggör vattenhastigheter upp till ca 200 mm/s. Eftersom vattenhastigheten i större läckvägar kan vara högre än så måste ytterligare fältundersökningar av skadornas omfattning göras. Om höga vattenhastigheter förekommer måste alla inläckagepunkter i panur och tätning tätas noga innan injektering påbörjas. Om silt förekommer i undergrunden försvåras injekteringsmöjligheterna.

Fördelar

- Relativt liten påverkan uppkommer på fyllningen under borrhningen och injekteringen. Material behöver inte schaktas bort och enbart injekteringsbruk tillförs.
- Injekteringen utgör i sig själv en uttömmande grundundersökning och viss spårning av läckagevägar.
- Injekteringen kan varieras efter behov, t.ex. flera rader och tätare hålavstånd i funktion av successiva resultat.
- Injekteringen kan anpassas till behovet (reduktion av permeabiliteten som funktion av injekteringsintensitet), medan de andra typerna av tätskärmar i praktiken är impermeabla och ger upphov till en skarp övergång mellan behandlat och obehandlat material.

Nackdelar

- Ökat vattentryck uppströms om injekterat område kan medföra högre gradienter i obehandlade eller bristfälligt behandlade områden och att nya skador kan uppkomma där.
- Cementinjektering kräver att vattenhastigheten i läckageflödet är tillräckligt låg. Om så inte är fallet, vilket det fanns indikationer på i Spjutmo, så behövs t.ex. PU-injektering nedströms området som ska cementinjekteras.
- Det är komplicerat att utföra injektering i kraftigt varierande material. Tube a manschette metoden måste sannolikt användas.
- Problemet med bristande filter under panur och bakom tätkärna kvarstår efter injektering. Vid injektering av skadeområdena skulle den höga gradienten över övriga delar av panuren kvarstå och sannolikt skulle nya skador successivt uppkomma.
- Det är svårt att lokalisera läckagevägarna och därigenom kunna injektera dessa på ett fullgott sätt.
- Svårt att verifiera injektering och säkerställa skärmens utbredning. Svårt att erhålla en homogen tätvägg.

3.4.7 Membran över och kring de skadade områdena

Slutligen övervägdes att åtgärda befintlig tätning genom att placera ett membran över områdena där sjunkhål uppkommit. Ett tätande membran utlagt efter det att ett aktivt sjunkhål fyllts med sand har begränsad inverkan, eftersom det inte finns en tryckskillnad mellan ovan- och undersidan av membranet. För att membranet skall sugas in och täta behövs det att en aktiv inströmning förekommer.

Om ett tätt membran läggs över ett aktivt sjunkhål sugas membranet delvis ned i sjunkhålet och bromsar den mer direkta inströmningen, men flödet runt membranets kanter kan nå erosionskanalen bakom membranet och på sikt fortsätta att förstora kanalen. För att metoden skall vara effektiv behöver ett större område kring skadepunkterna täckas över och skyddas med täta fyllningsmassor.

Som en variant av detta studerades täta, men flexibla, gabionmadrasser. För att komplettera panuren kan större, tunna, gabioner med lämplig fyllning lyftas ned från pråm på uppströms panur och en bit upp på dammens slänt. Varje gabion görs tät t.ex. genom dubbla lager av geodukar eller asfalt, samt erosionsskyddas med lämpligt val av fyllningsmaterial. En fördel med madrasser är att de är eftergivliga och följer med undergrunden vid underliggande erosion. I ett första skede kan gabionerna utplaceras

lokalt kring befintliga sjunkhål. Själva utplaceringen förväntas gå relativt snabbt och kan utföras med travers från en pråm.

På samma sätt som för injektering har dessa metoder nackdelen att problemen med brister i filterfunktion under panur och bakom tätkärna kvarstår och att nya skador med tiden kan antas uppkomma i tidigare oskadade områden. Vidare tätas inte läckagevägarna under panuren, om inte metoden kompletteras med injektering.

Metoderna bedöms vara billigare och enklare att genomföra än övriga alternativ, men inga direkta tekniska fördelar jämfört med de andra metoderna kunde ses för dammens framtida funktion.

3.4.8 Slutligt metodval

Membran uteslöts då detta sågs mer som en tillfällig reparationsmetod. Injektering uteslöts också med hänvisning till svårigheterna att kontrollera resultatet, tekniska svårigheter med utförandet och att svagheter med bristande filter skulle komma att kvarstå.

Målet var att erhålla en säkerställd funktion för de kommande 50 - 100 årens drift. Detta medförde att enbart alternativ som i sin helhet ersatte den befintliga tätningen i slutänden övervägdes. Slitsmur avfördes då stödfyllningen delvis bedömdes vara så pass grov att det kunde uppkomma svårigheter att hålla trycket uppe i slitsen, samt att schaktet skulle behöva vara påfallande djupt, vilket komplicerar grävarbetet. Jetpelare bedömdes olämpliga då verklig utbredning för dessa är svårkontrollerad och kontakten mot berg inte kan säkerställa på samma sätt som vid borring.

Utifrån de jämförelser som gjordes bedömdes en tätvägg av sekantpålar eller rörpålar vara mest gynnsam. Sekantpålar bedömdes vara något förmånligare tekniskt då problemet med överborring inte uppkommer och en tät anslutning erhålls mot kringliggande mark utan kompletterande injektering. En viss inträngning i redan utvecklade skadeområden kunde också påräknas.

Ekonomisk var sekantpålar klart förmånligare än rörpålar. Hade erforderligt djup för tätväggen var mindre så att skarvning inte hade varit erforderlig för rörpålar så hade dock det alternativet varit ekonomiskt konkurrenskraftigt.

Slutligt val avsåg en 122 m lång och upp till knappt 37 m djup sekantpålevägg, vinklad åt uppströmshållet i anslutningen till åsen i höger ände för att där förlänga läckavägen och minska gradienten kring vägens ände.

Den vinnande entreprenörens anbud var baserat på foderrörsdrivning med en kraftig oscillator, upptagning av materialet inne i foderröret med gripskopa och användning av fallmejsel i erforderlig omfattning.

3.5 DIMENSIONERINGSBERÄKNINGAR FÖR SEKANTPÅLEVÄGGEN

3.5.1 Allmänt

För att anpassa sekantpåleväggens utformning, bestämma lämplig diameter på pålarna, överlappning och betongens egenskaper, utfördes beräkningar för att kontrollera vilken inverkan den införda styva konstruktionen skulle få på dammkroppen. Av speciellt intresse var anslutningen till befintlig utskovskonstruktion och mot berg. Genom att ansluta sekantpåleväggen mot befintlig spont, som sträcker sig

2 m vinkelrätt ut från utskovsväggen, i stället för mot direkt mot utskovsväggen, kunde man undvika att störa den vertikala tätkärnan och den befintliga tätningen mellan denna och utskovsväggen.

Installationen av sekantpåleväggen utfördes enligt Eurocode EN 1536, "Execution of special geotechnical works – Bored piles". I enlighet med denna bör betongkvaliteten väljas mellan C20/25 och C30/37, med ett cementinnehåll överstigande 375 kg/m³ för att kunna gjuta under vatten och vara beständig vid ett konstant ensidigt vattentryck.

Detta avser främst vid gjutning under grundvattenytan, samt vid utförande av väggen i dammens befintliga tätkärna av morän i dess vertikala del mot utskovsväggen. I det senare området hölls borrhålet hela tiden fyllt med vatten till dammens krön för att upprätthålla övertryck och undvika risk för bottenuppträckning.

Bland förberedelserna gjordes även vattenprovtagning för att verifiera att grundvattnet inte var reaktivt mot betongen.

Val av huvudsaklig utformning av sekantpåleväggen

För att fastställa erforderliga materialparametrar och slutligt utförande av sekantpåleväggen analyserades deformationerna som uppstår i dammkroppen då en ökad horisontell vattenlast påförs den nya tätväggen nedströms befintlig tätkärna.

Dammen har redan utsatts för deformationer från den belastning som uppstod i samband med att magasinet fylldes den första gången. På grund av att en del av vattenlasten nu flyttas från den befintliga lutande tätkärnan till den vertikala sekantpåleväggen nedströms tätkärnan kommer framförallt horisontella rörelser att uppkomma när tidigare torra områden trycksätts.

Då den färdiga sekantpåleväggen är motfylld av stödmaterial på båda sidor är den enda pådrivande lasten vattentrycket, vilket medför att väggens utböjning ändå blir ganska liten. Storleken på de horisontella rörelserna beror främst på stödfyllningens deformationsmodul, men även på tätväggens och en eventuell underliggande injekteringsskärms styvhet.

Inför den slutliga designen kontrollberäknades två huvudsakliga lösningar. Den första av dessa innebar att sekantpåleväggen skulle borraras in i ytberget för att erhålla en tät kontaktyta mot grundläggningen.

Den andra lösningen innebar att sekantpåleväggen skulle avslutas mot tät naturlig morän ned till minst + 178 och att kontakten mot berggrunden skulle utföras med ridåinjektering genom sekantpålarna, för att helt eller delvis täta utrymmet mellan pålarnas underkant och bergytan.

Anledningen till detta andra alternativ var att begränsa utförandedjupet av praktiska och ekonomiska skäl, men också på grund av en oro för att en inspänd vägg skulle medföra stora spänningar i sekantpåleväggen och att denna skulle riskera att spricka upp. Så visade sig inte vara fallet, utan inspänningseffekten var mycket liten. En kontrollberäkning av förhållandena för en rörpålevägg gjordes också som jämförelse.

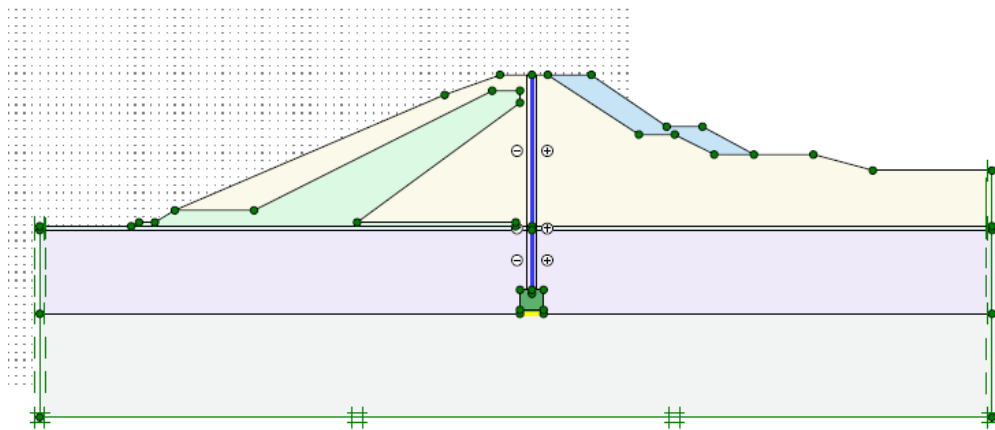
3.5.2 Beräkningsmodell och materialparametrar

Beräkningarna utfördes med FEM-programmet PLAXIS. Den geometriska modelleringen av damm och undergrund framgår av Figur 3.5 - 1. Den valda sektionen representerar dammens centrala del där normalsektion har en lutande tätkärna.

Underkant för sekantpåleväggen sattes i ena alternativet till +176, med bergytan på nivån +173, med en mellanliggande ridåinjektering. I det andra alternativet anslöts sekantpåleväggen direkt till bergytan utan injektering.

Ytterligare en anledning till att dessa två alternativ jämfördes var en viss oro att om anslutningen utfördes helt tät så skulle strömningen öka kring väggens högra ände och därmed öka risken för inre erosion i åsen. Man ville beräkningsmässigt undersöka om ett visst tillåtet läckage under tätväggen kunde minska gradienten över spontväggens högra ände. Vidare önskade man enligt ovan undersöka inverkan av eventuella inspänningskrafter.

Även om programmet PLAXIS har vissa begränsningar, som i någon mån kan påverka resultaten vid beräkning av deformationer och krafter i tätelementet, ger beräkningarna en god bild av hur dammen och ett nytt tätelement påverkas av de förändrade grundvattenförhållandena i dammkroppen.



Figur 3.5 - 1 Beräkningsmodell för deformationskontroll i PLAXIS.

Sekantpåleväggen representeras i beräkningen av skivelement, eftersom den har en liten tjocklek jämfört med dammens dimensioner. Vattenlasten på den täta väggen ger upphov till en sidoförskjutning, vars storlek beror på stödfyllningens och undergrundens E-moduler. I tätväggen uppstår moment, tvärkrafter och normalkrafter i förhållande till deformationsbilden. I fallet med injekteringsskärm, som tätande del mellan sekantpåleväggens undersida och bergytan, överförs lasten gradvis genom strömningsskraften över skärmens tjocklek, som är betydligt större än för tätväggen.

De beräknade värdena på moment och krafter i modellen, med väggen modellerad som en skiva, är inte representativa för verkliga förhållanden, utan skärmen bör egentligen modelleras med FEM-element som en del av dammkroppen. För den aktuella beräkningen bedömdes det dock som tillräckligt att sekantpåleväggen modellerades som ett skivelement.

Injekteringsskärmen modellerades som ett 3 m brett block. Detta ligger på berget och sidoförskjuts om vattentrycket överstiger friktionen mellan berg och block, som ansatts till 45°. Botten på tätväggen antas ansluta till det injekterade blocket utan att vara fast inspänd, varför inget moment uppstår i tvärväggens botten, men däremot en tvärkraft.

Om tätelementet förs ned i berg och anslutningen betraktas som en fast inspänning uppstår moment och skjuvkraft i väggens kontakt mellan jord och berg.

Beräkningarna av deformationer och krafter har gjorts med uppströms vattenyta på dämningssgräns på +201, men även för nivån +203. Detta för att uppskatta inverkan av en överdämning som en del i förberedande åtgärder för den framtida flödeshanteringen vid anläggningen.

Vattennivån omedelbart nedströms tätväggen beror på läckaget under denna och har antagits på nivån +187, men även nivån +183 har använts i beräkningarna som ett mer konservativt fall. Det är dock inte troligt att en så låg vattennivå som +183 kan uppstå ens om tätväggen skulle ansluta helt tätt mot berget, beroende på det naturliga grundvattenflöde som kommer genom åsen och påverkar grundvattenytan nedströms dammens tätning. Dessa nivåer har även använts konservativt för injekteringsskärmen, trots att uppströms vattennivå mot skärmen i praktiken aldrig kan vara lika med magasinsnivån.

De viktigaste materialparametrarna som användes i beräkningarna sammanfattas i Tabell 3.5 - 1.

Tabell 3.5 - 1 Materialparametrar för damm, injektering och sekantpålevägg.

Materialzon	Torrtdensitet (kN/m ³)	E-modul (MPa)	Inre friktionsvinkel (°)
Undergrund och åsmaterial	19	40	36
Gammal stödfyllning	21	50	38
Ny stödfyllning	19	30	45
Tätkärna	21	25	35
Sekantpålevägg	24	30 000	--
Injekterad zon	23	1 000	--
Berg	24	30 000	--

Elasticitetsmodulen i stödfyllningen ansattes till 50 MPa, men en känslighetsanalys utfördes även för 10, 25 och 100 MPa i stödfyllningen. Stödbanken på dammens nedströmsslänt gavs en lägre modul än den ursprungliga stödfyllningen av sand och grus, då den består av sprängsten med litet innehåll av små fraktioner.

3.5.3 Deformationsbild i dammkropp och sekantpålevägg

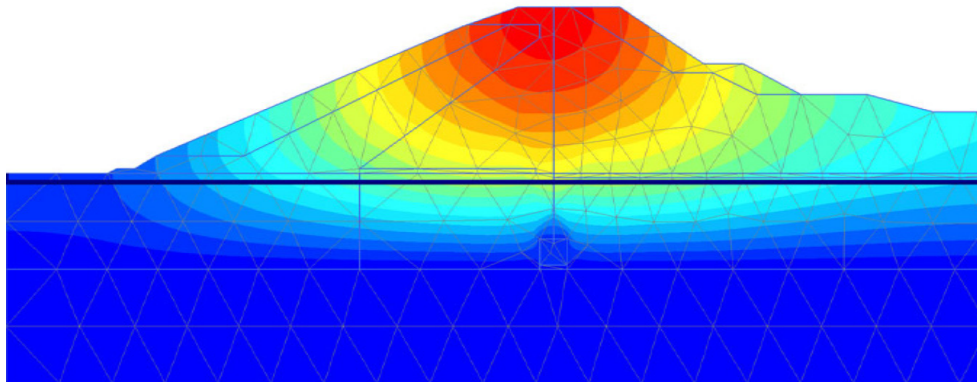
Deformationsbilden för en uppströmsvattenyta på +201, med en nedströmsvattenyta på +183 beräknades. För att beskriva rätt spänningstillstånd i dammen måste beräkningarna utföras i de steg som i princip simulerar de olika faserna i dammens uppförande där konsolideringsprocessen för de olika konstruktionsdelarna beror av deformationerna. En förenklad sekvens med tre faser användes:

1. Fas 0 - Dammfyllning på undergrunden i torrhet
2. Fas 1 - Påförande av vattenlast på ursprungliga tätkärnan från första dämning
3. Fas 2 - Införandet av tätelement (tätvägg och/eller injekteringsskärm) med vattenlast

Fas 0 och Fas 1 är oberoende av vilken typ av tätelement som tillkommer i Fas 2. Deformationer och krafter i tätelementet i Fas 2 varierar däremot beroende på typ av tätelement. De följande figurerna visar överskådligt resultatet av beräkningarna för fallet med uppströms vattenyta +201 och nedströms +183 för en sekantpålevägg med 1,0 m påldiameter.

Fas 0

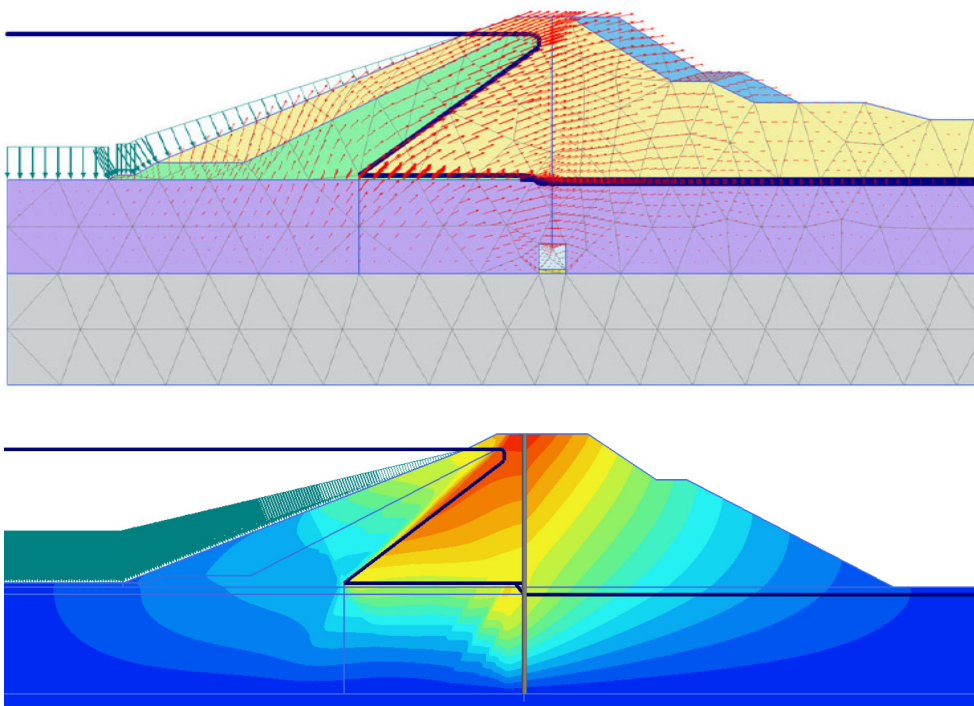
Fas 0 representerar den huvudsakligen vertikala deformation som uppstår i stödfyllning och undergrund, se Figur 3.5 - 2. Den initiala vattenytan har antagits på nivån +183, dvs. i dammens grundläggningsnivå. Av beräkningstekniska skäl har den år 2011 utlagda stödbanken på dammens nedströmsslänt inkluderats redan i Fas 0. Detta gäller även blocket som representerar injekteringen mot bergytan. Dessa förenklingar har ingen avgörande inverkan på beräkningsresultatet.



Figur 3.5 - 2 Fas 0 - Sättningsbild i byggfas; största sättning vid dammkrön 175 mm.

Fas 1

Deformationerna som uppstår i Fas 1 när magasinets fylls och delarna av dammen uppströms den lutande tätningen vattensätts, visas i Figur 3.5 - 3. Pilarna anger riktning och relativ storlek för deformationerna. Den fria vattenytan har förenklat antagits sammanfalla med tätkärnans nedströmssida och med grundläggningsnivån nedströms tätkärnan. I verkligheten kan en viss gradient antas förekomma med ett tryckfall även genom stödfyllningen både på upp- och nedströmssidan.



Figur 3.5 - 3 Fas 1 - Vattenlast vid uppförande med befintlig tätkärna i funktion. Deformationer i ursprunglig damm innan installation av sekantpålevägg visas. Överst utförande med injekteringskärm under sekantpåleväggen och underst med tätvägg ner i berg. Den största beräknade deformation är ca 53 mm.

Figur 3.5 - 3 ovan visar att det i dammen uppstår en horisontell deformation när tätkärnan utsätts för vattentryck, men också att en uppåtriktad komponent uppstår, vilken beror på de minskade effektivspänningarna. Dessa beror på förhöjda portryck som uppstår när den del av uppströmsfyllningen bakom den lutande tätkärnan som tidigare varit dränerad nu vattenmättas, tillsammans med en del av undergrunden.

Deformationen på grund av minskad effektivspänning ger inte nödvändigtvis en uppåtgående rörelse i fyllningen som figuren visar. Den negativt lutande vattenytan på tätkärnans nedströmssida är problematiskt programmässigt och leder till svårigheter att i modellen ange portryckslinjer i och kring tätkärnan. Detta påverkar dock i första hand beräkningen av effektivspänningar och vertikala deformationer inom detta område och har ingen avgörande inverkan på beräkningsresultatet för tätväggen.

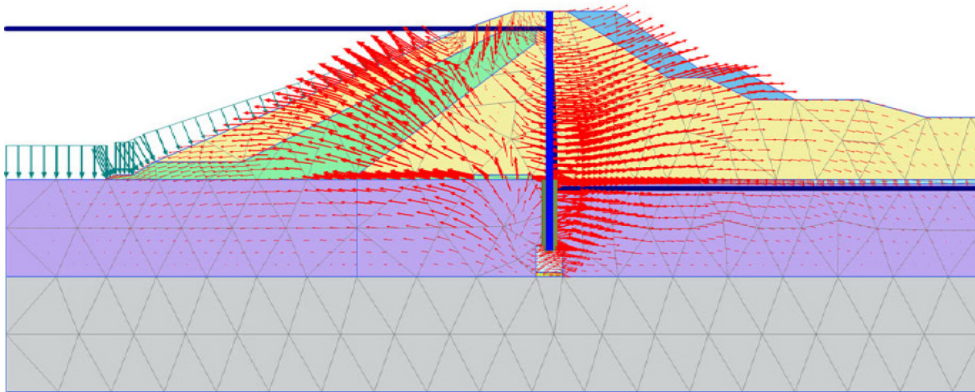
Den deformation som uppstår när tätväggen införs i fas 2 är utbildad när tätväggen uppförs. Om beräkningen utförts utan fas 1, dvs. om vattenlasten påförts direkt utan

mellansteg i hela uppströmsfyllningen, skulle deformationerna i tätväggen bli större. Den största deformationen uppstår nu närmast nedströms tatkärnan (53 mm). I linjen där tätväggen ska sättas är deformationen ca 20 mm i den undre delen av väggen och 40 mm i den övre delen.

Fas 2

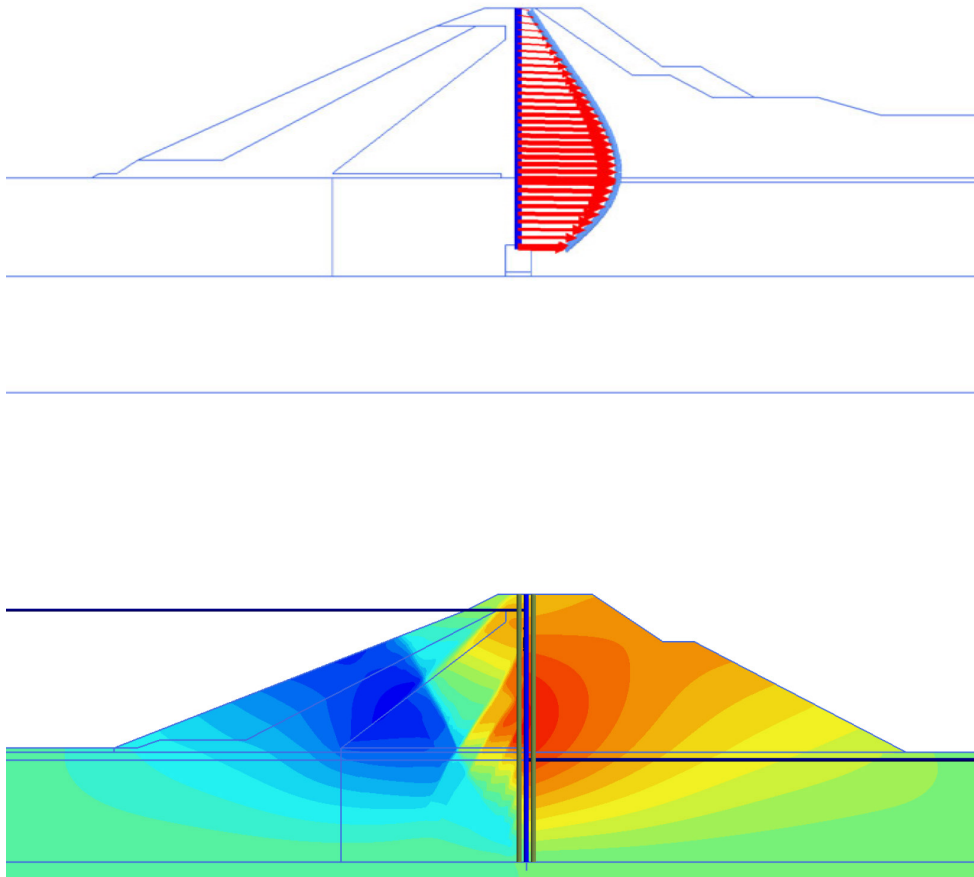
Fas 2 är beroende av det spänningstillstånd som uppkommit i Fas 1, när den tidigare torra fyllningen mellan tatkärnan och den nya tätväggen vattenmättas och utsätts för ett vattentryck motsvarande full magasinsnivå.

Deformationerna och deras riktning framgår av Figur 3.5 - 4. Vattentrycket deformerar tätväggen nedströmsåt och medför deformationer i riktning både uppåt och uppströms i tatkärnan och omgivande fyllning. Deformationsbilden är dock påverkad av problemet att i programmet ange rimliga portryckslinjer i den lutande tatkärnan.



Figur 3.5 - 4 Fas 2 - Deformationsbild av dammen med tätvägg; största deformation 24 mm.

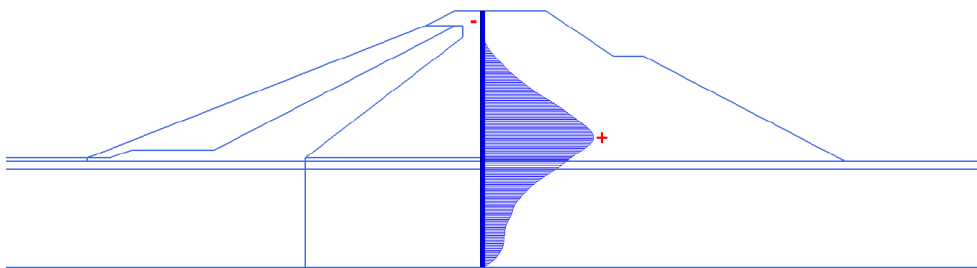
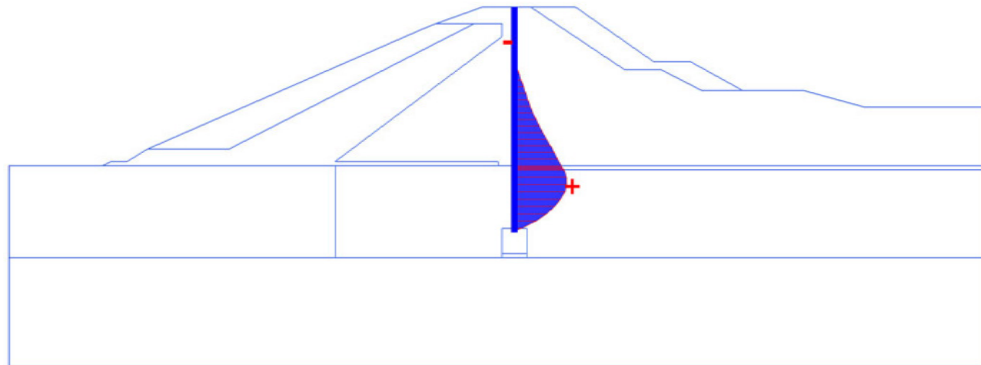
Deformationen av den nya tätväggen framgår av Figur 3.5 - 5. Den största relativa förskjutningen, 24 mm, erhålls i grundläggningsnivån och är dubbelt så stor som i gränssnittet mellan vägg och injekterat block.



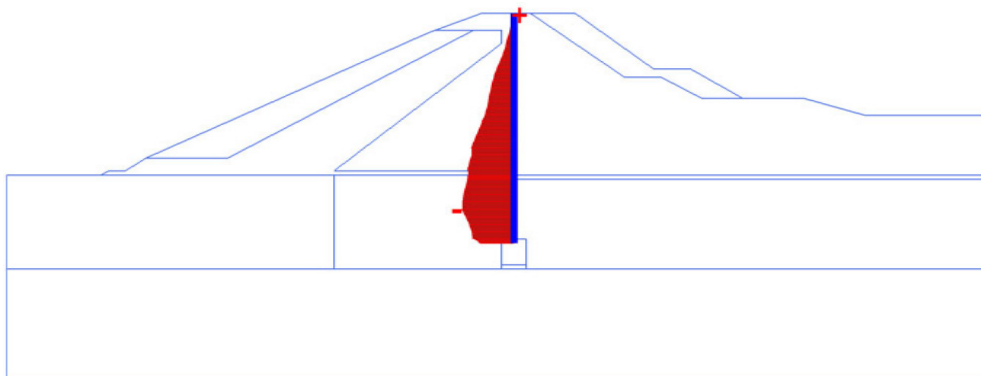
Figur 3.5 - 5 Fas 2 - Vattenlasten förflyttad från befintlig tätkärna till den nya sekantpåleväggen. Tillkommande horisontell deformation beräknas till ca 24 mm. Undre bilden visar förskjutningarna fördelning över hela dammens tvärsnitt. Maximal utböjning sker på ungefär halva pålens höjd.

3.5.4 Krafter i sekantpålevägg

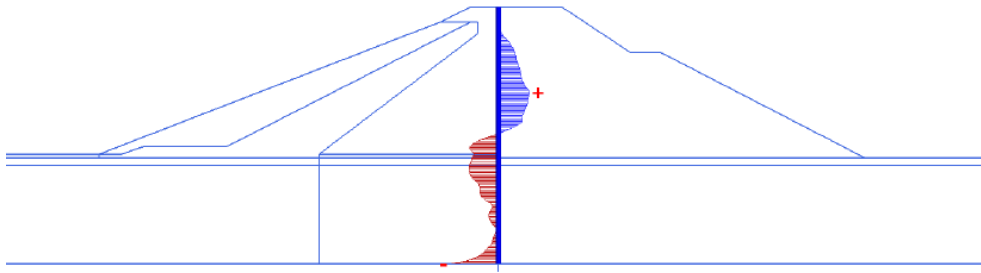
Nedan redovisas de krafter som uppstår i tätväggen på grund av utböjningen, orsakad av den påförda vattenlasten. I beräkningarna har en uppströmsvattenyta på +201 och en nedströmsvattenyta på +183 antagits. Moment- och kraftdiagram visas i Figur 3.5 – 6 till 3.5 - 9.



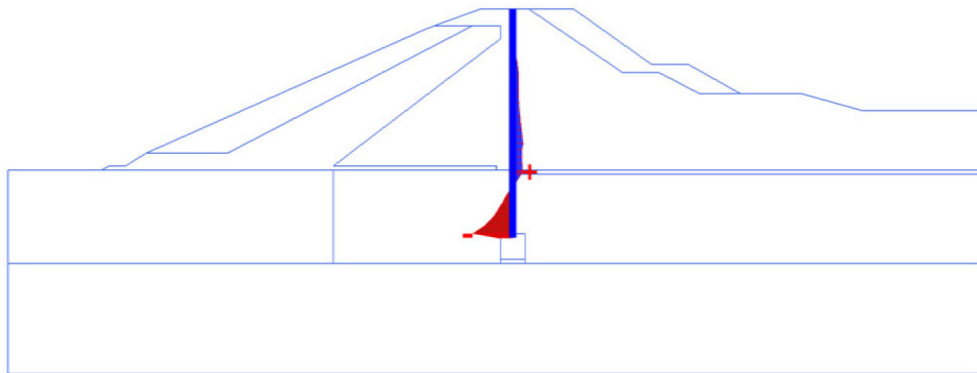
Figur 3.5 - 6 Momentfördelning i sektantpålevägg. Överst med injekteringsvägg, max 640,9 kNm/m, min -22.2 kNm/m. Nederst vid infästning i berg med max 735 kNm/m vid den största utböjningen.



Figur 3.5 - 7 Normalkraft för fallet injekteringsvägg – max 0,2 kN/m, min -408,1 kNm/m.



Figur 3.5 - 8 Skjuvspänningar verkande på sekantpåleväggen vid full vattenlast för fallet inspänd vägg; $Q = +85$ kN/m till -130 kN/m.



Figur 3.5 - 9 Tvärkraft för fallet injekteringsvägg – max 103,8 kN/m, min -77,8 kN/m.

Det överst i Figur 3.5 - 8 visade momentet ger upphov till en dragspänning på ca 5 MPa, beräknat för en effektiv bredd av 0,9 m då pålarna överlappar varandra (den verkliga överlappningen kom att vara mindre.) Denna spänning överstiger betongens draghållfasthet, men kompenseras av tryckspänningen i väggen på grund av normalkraften som uppgår till ca 4,5 MPa.

Normalkraften i väggen uppstår delvis pga. blocket, som representerar injekteringen under sekantpåleväggen. Injekteringsskärmen har en mycket mindre deformationsmodul än övrig fyllning. Det är således troligt att normalkraften kan förhindra omfattande sprickbildning i väggen. Tvärkrafterna ger upphov till skjuvspänningar i storleksordningen 0,1 MPa, vilket inte innebär hållfasthetsproblem. Sprickor kan uppkomma på sekantpåleväggens nedströmssida, vilket inte påverkar väggens permeabilitet.

3.5.5 Resultat av beräkningar

Kontrollberäkningarna visar att deformationerna av tätelementet är av samma storleksordning oavsett vilket alternativ som väljs för utförande av väggens anslutning till berg, dvs. sekantpålevägg eller en kombination av detta och en underliggande injekteringsskärm. Beräkningarna visar att fördelningen mellan moment och normalkraft är liknande i sekantpålarna för båda fallen.

Detta är en följd av att det är fyllningens laterala bäddmodul som är avgörande för hur stor deformationen blir och inte tätväggs styvhet. Styvheten har dock stor inverkan på magnituden på moment och krafter i väggen.

Momenten för sekantpåleväggen och de 2 eller 3 m tjocka injekteringsskärmarna är av samma storleksordning, eftersom injekteringsskärmens styvhet trots att den är tjockare än sekantpåleväggen har en mycket lägre E-modul. Ur strukturell synvinkel är det alltså ingen nämnvärd skillnad om sekantpåleväggen går ner i berget eller inte.

Den maximala utböjningen i väggen beräknades till ca 20 – 30 mm. Momentet som orsakas av utböjningen i sekantpåleväggen medför att spänningar uppkommer på nedströmssidan av väggen. Detta kan medföra smärre, men ej genomgående, sprickbildning. Utifrån detta bedömdes det lämpligt att utföra sekantpåleväggen oarmerad och ner i berg. Anslutningen till berg valdes för att säkerställa att en så tät anslutning som möjligt erhöles. Injekteringsskärmen uteslöts i den slutliga designen.

Tabell 3.5 - 2 Jämförelse av deformationer och krafter i olika tätelement och vattennivå.

	UVY	NVY	Vägg- def.	Moment		Normalkraft		Skjuvkraft	
				Max	Min	Max	Min	Max	Min
	möh	möh	m	kNm/m	kNm/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
Sekantpåle D=1,0 m	201	183	0,024	640,9	-22,2	0,7	-642,6	73,1	-246,4
Injektering 2 m	201	183	0,027	360,1	-22,0	0,3	-814,0	45,7	-224,1
Injektering 3 m	201	183	0,025	851,0	-10,0	0,3	-1251,0	85,3	-346,1
Injektering 5 m	201	183	0,021	2205,0	0,0			157,1	-582,2
Sekantpåle D=1,0 m	201	187	0,019	12,3	-22,0	0,2	-270,9	69,3	-56,2
Injektering 2 m	201	187	0,018	288,2	-10,0	0,7	-667,7	30,7	-190,8
Injektering 3 m	201	187	0,017	579,0	0,0	0,5	-1169,0	40,6	-279,4

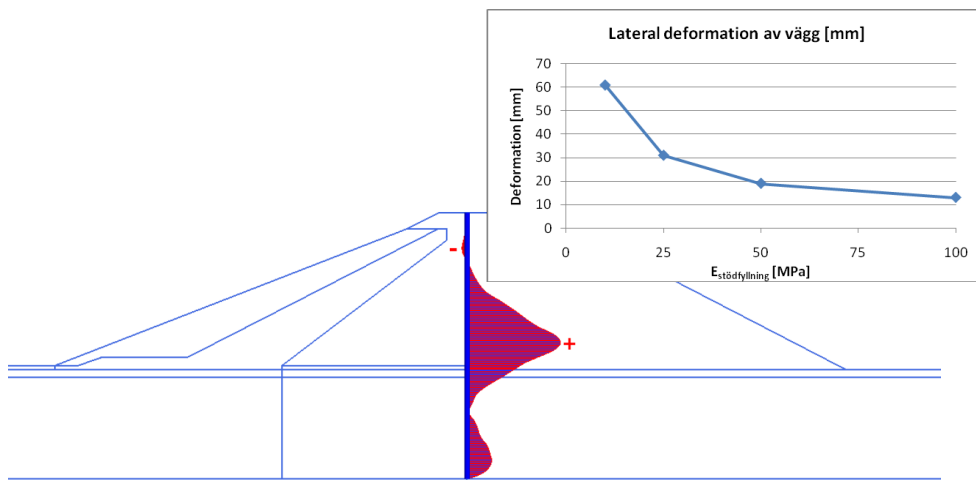
Det bedömdes att anslutningen mot berg fungerar som momentmässigt ledad. För att momentkrafter skall uppkomma för en fast inspanning krävs att pålen försänks flera meter ner i berggrunden.

Vissa resultat i beräkningarna sammanfaller inte med den erfarenhetsmässiga bedömningen i deformationsbilden. Avvikelse i beräkningen beror sannolikt att det inte gått att framställa en korrekt portrycksbild på grund av tätkärnans lutning. Eftersom portrycket bestämmer effektivspänningarna och förändringarna i dessa spänningar i sin tur ger upphov till deformationerna, så uppstår avvikelser. De beräknade deformationerna för tätväggen förefaller dock vara rimliga.

3.5.6 Åldringseffekter och sprickor i sekantpåleväggen

För att utvärdera långtidseffekten för tätväggen reducerades E-modulen i beräkningen från 25 000 MPa till 5000 MPa, vilket avsåg modellera en tänkt sprickbildning på nedströmssidan av sekantpåleväggen, där utböjningen är som störst.

Som framgår av Figur 3.5 - 10 så ökar den teoretiska utböjningen för detta fall något med sjunkande E-modul. Skillnaden är dock marginell. Samtidigt minskar momentet från 735 till 240 kNm. Detta betyder att spänningarna i sekantpåleväggen kommer att minska markant genom att den böjer ut ett fåtal millimeter.



Figur 3.5 - 10 Moment vid reducerad E-modul, $M = 240 \text{ kNm/m}$.

3.5.7 Betongkvalitet

Beräkningarna visade att den färdiga sekantpåleväggen till största delen kommer att vara tryckt. Utifrån detta bedömdes sprickbildningen i pelarna bli begränsad och att det därför inte var erforderligt att armera sekantpålarna. Erforderlig betongkvalitet kunde därigenom begränsas till C20/25. Beräkningsmässigt hade C15 varit tillräckligt, men betong görs normalt inte med denna kvalitet och C20/25 ger en bättre beständighet mot urlakning.

Istället valdes C20/25 5-16 Red med exponeringsklass X0. VCT sattes till 0,55, en finhetsmodul på 4200 och ett cementinnehåll på 375 kg/m^3 . I praktiken blev det C30/37 som användes, då det var den betong som fanns lätt tillgänglig från närliggande betongstation. Som tillsatsmedel användes SikaRetarder.

På grund av ett missförstånd användes lokalt i de första pålarna byggcement med potentiellt reaktiv ballast. En efterhandsanalys CBI och SweRock visade att den reaktiva potentialen i denna var så pass liten att den inte utgjorde något problem för pålarnas långtidsfunktion. Kontrollen visade att ballasten teoretiskt är reaktiv, men att det inte förekommit några dokumenterade problem med svällning i några av de betongkonstruktioner som ballasten historiskt använts till. Efter detta övergick man till anläggningscement. Lägsta tillåtna arbetstemperatur sattes till -15°C , för att undvika problem med gjutningen.

Avsikten med den valda blandningen var att den nya tätningen skulle erhålla en så lika styvhet som möjligt som den kringliggande befintliga stödfyllningen. Detta för att ha en god följsamhet och inte drabbas av för stora spänningar, som skulle kunna medföra skadlig sprickbildning i väggen. Avsikten var även att minska risken för att sprickor uppstår i stödfyllningen i anslutning till tätningen när stödfyllningen konsolideras, orsakat av det nya belastningsfallet som uppkommer när tidigare icke vattensatta delar av stödfyllningen vattendränks.

De beräkningar som genomfördes visade att överensstämmelsen mellan förväntad deformation i dessa material var tillräcklig god och att de totala deformationerna i tätväggen kunde förväntas vara små, varför risken för skadlig uppsprickning bedömdes som liten, trots att sekantpåleväggen inte armerades.

Materialuttag för testning utfördes enligt EN-1536. Detta omfattade ett materialprov för kontroll av tryckhållfasthet för de tre första pålarna som göts, varefter prov för testning togs ut på var femte påle. Fyra cylindrar för provning togs ut per materialprov.

Materialprovning utfördes enligt ENV 206 och visade för samtliga fall, förutom för en omgång frysskadade prov som lämnats ute över natten, godkända värden.

Tryckhållfastheten vid provtryckningen av kuber konstaterades vara väl hög. Detta ses dock inte som ett problem för flexibiliteten utifrån de beräkningar som utförts.

3.6 INSTRUMENTERING

För att övervaka att sekantpåleväggen efter installation uppför sig som beräknat och för att kunna följa upp deformationer, installerades kompletterande instrumentering.

Dels installerades nya vattenståndsrör för att kunna följa en eventuell gradvis stigande uppströmsvattenyta på den dämmande sidan av sekantpåleväggen och för att kunna bedöma risken för påverkan på gjutning om gradienten mellan upp-, och nedströmssidan skulle bli för hög. Temperaturmätning på flera nivåer utfördes även fortlöpande i utvalda rör.

Dels placerades dubbar för rörelsemätning på vägräckena på upp-, och nedströmssidan av dammens krön och dels installerades inklinometrar i tre strategiskt utvalda sekantpålar för långtidsövervakning. Inklinometerrören placerades jämnt fördelade över dammens högsta del och monterades i specialgjorda armeringskorgar för att sänkas ner i foderröret innan gjutning.

Eftersom gjutning sker under uppdragning av foderröret förekommer dock problem med att på ett fullgott sätt fixera armeringskorgen. Vid installationen av den första inklinometern vreds sig därför denna så att röret blev obrukbart pga. lyftkraften i röret när betongen fylldes i foderröret. Vid installationen i nästföljande mätpunkt bröts röret för inklinometern sönder under gjutning. Det beslutades därför att inklinometrarna istället skulle borraras ner i de utvalda pålarna på sedvanligt sätt.

Det gick dock inte att få fram en firma som kunde utföra installationen med kort varsel, varför inklinometrarna kom på plats för sent för att kunna registrera initiala rörelser i sekantpåleväggen. Under samma period visade dubbarna i vägräckena inga onormala rörelser som inte direkt kunde relateras till lokal påverkan från entreprenadmaskiner.

Inklinometrarna borrades under juni 2014 in och göts fast i påle 19, 39 och 81.

3.7 VATTENTÄTHET OCH DÄMMANDE FUNKTION

Vattentätheten i sekantpåleväggen är, förutom av betongkvaliteten, främst beroende av kontaktytan mellan två intilliggande pålar, där väggen är som smalast. Om det blir en skillnad i utböjning mellan två intilliggande pålar kan det inte uteslutas att fogen mellan dessa öppnas och att en läckageväg uppträder.

Då lasten på respektive sida om sekantpåleväggen i princip kommer att vara identisk och den enda pådrivande kraften är vattenlasten från magasinet, så bedöms förekomsten av differentiella laster på de individuella sekantpålarna vara små. Magasinslasten verkar som en utbredd last, som i princip är lika över sekantpåleväggens längd.

Utan differentiella laster bestäms tätheten i fogarna mellan sekantpålarna av själva utförandet. Genom att varannan påle borrar in mellan de föregående och betongmassan tränger in i den omkringliggande fyllningen och mot pelarna är utförandet snarlikt det som erhålls vid injektering. Så länge inte differentiella rörelser förekommer så är sannolikheten stor att fogen mellan intilliggande sekantpålar håller tätt.

Så länge lagningen av punkteringarna i panuren och tatkärnan håller tätt så förväntas en svag gradient att finnas parallellt med sekantpåleväggen uppströmssida, lutande mot åsen som dränerar runt dammens högra ände. Först om och när panuren åter skadas kommer sekantpåleväggen att belastas fullt. Först då kommer deformationer att uppkomma, men bedömningen utifrån de beräkningar som genomförts är att dessa är så pass små att det inte bedöms kunna uppkomma glipor av relevant storlek mellan sekantpålarna.

Sekantpåleväggen har i sin högra ände vinklats åt uppströmshållet i anslutningen till åsen, för att förlänga läckvägen och minska gradienten. Hade väggen avslutats rakt in i åsen är det risk för att en så pass hög gradient hade uppkommit runt änden att erosion skulle kunna uppkomma i åsen. Längden på anslutningen parallellt åsen designades så att gradienten längs denna skulle vara avsevärt lägre än den för det antagna erosionsmotståndet för det naturliga materialet i åsen.

3.8 MILJÖASPEKTER

Då det genom observationer i vattenståndsrören och under borrning under fältundersökningarna konstaterades att det förekom strömmande vatten under dammens grundläggningsnivå utreddes risken för miljöpåverkan av utströmmande cement under gjutningsarbetena till älven nedströms.

De kända inläckageområdena i panuren på magasinets botten och i dammens uppströmsslant täcktes innan gjutningsarbetena påbörjades med ett extra lager med sandmaterial. Detta för att minska risken för att nya skador skulle uppkomma i kontaktytan mellan panur och ifylld sand. Syftet med detta var att i största möjliga mån minska vattenströmningen under dammen under den tid som gjutningen skulle fortgå.

Vidare valdes en betongblandning med en förhållandevis låg inträngningsförmåga och en kortare härdningstid än vanligt för sekantpålar. Detta för att minska risken för tryckförlust i pelaren under gjutning. Detta balanserades mot hur många primärpålar det var önskvärt att hinna gjuta innan man måste borra och gjuta sekundärpålarna.

En äldre dränageledning är belägen i utfyllnaden nedströms om dammen. Det finns även en öppen brunn på nedströmssidan. Topografiskt så leds allt grundvatten från dammen och kring dess anslutning till åsen genom detta område och ut över en ca 150 m lång sträcka parallellt älven. Om cementläckage skulle förekomma var det rimligt att tro att detta skulle kunna detekteras i dränageledningen eller i brunnen nedströms dammen. För att verifiera om utläckage förekom genomfördes fortlöpande vattenprovtagning upp-, och nedströms om dammen, samt i brunnen nedströms dammen. Analys gjordes av förändringar i pH, samt av förändring i föroreningsnivå av ett antal parametrar som kan mätas i cementblandningar.

Den fortlöpande analysen visade att entreprenadens påverkan på området mot älven nedströms dammen var avsevärt mindre än den årstidsbundna naturliga variationen i älvvattnet. Ingen mätbar miljöpåverkan kunde detekteras av entreprenadarbetena.

3.9 KOMMENTARER KRING UTFÖRANDET

3.9.1 Allmänt

Arbetena sköts upp ett år för att inte behöva göra ett vinteravbrott och utfördes under 2013. Med den förstärkning som utförts med nedströms stödbank och kontinuerlig övervakning av temperatur och vattennivå i ett stort antal rör, bedömdes dammsäkerheten vara tillfredsställande under vintern fram till planerad byggstart.

Arbetet inleddes så fort vädret och nattemperaturerna bedömdes lämpliga och bedrevs 12 timmar per dygn, sex dagar i veckan.

Reservmassor för tätkärna, filter och stödfyllning fanns på plats upplagda invid arbetsplatsen, för att finnas nära till hands i det fall att en sättning skulle uppkomma i dammen, orsakad av en kollaps av inre kaviteter pga. vibrationer från arbetena. Inga sättningar noterades dock under arbetets gång, utom lokalt i tät kärnan invid spontplanken under uppdragning.

3.9.2 Styrbalk

Asfalten på dammens krön revs och ytan under, inklusive stödbanken på dammens nedströmssida, planades av med succesivt finkornigare material för att erhålla en jämn och finkornig arbetsyta. Befintliga signal-, tele-, och kraftkablar lokaliserades och lades om så att krönet blev tillgängligt i sin helhet.

Ett dike schaktades i läget för den planerade sekantpåleväggen. Den planerade väggens läge markerades i markytan genom gjutning av en så kallad styrbalk för den första gjutetappen. Detta är en form som visar var respektive påle skall placeras för att minska risken för bristfällig överlappning och ge ett styrstöd vid installationen, se Figur 3.9 - 1.

Styrbalken utfördes genom att frigolitblock motsvarande dimensionen för genomföringarna för foderröret sattes ut på en iordningställd och avplanad yta. Frigolitblocken fixerades med nedslagna armeringsjärn och mättes in med några centimeters noggrannhet i de avsedda lägena för sekantpålarna. En form byggdes för styrbalkens utsida och armering utfördes. Balken göts sedan mot frigolitblocken. Efter gjutning togs frigolitblocken bort.

Styrbalken var runt en meter tjock. Förutom att utgöra anvisning för foderröret så var dess uppgift att ge ett stöd för borrhjulen så att foderröret inte skulle dras snett. Balken utfördes försänkt i kringliggande mark för att få ett bra sidostöd, men kan även gjutas ovanpå marken i borrhjulet beroende på lokala förutsättningar. I de fall att styrbalken utförs ovanpå marken behöver den vara mer förstärkt än annars och bredare för att ge erforderlig plats för arbetsmaskiner.

Styrbalkarna utfördes i runt 20 m långa avsnitt för att möjliggöra successiv modifiering av framförallt centrumavstånd mellan pålarna, om så krävs. Det är svårare att ändra påldiameter då det betyder att nya foderrör behövs. Krav på förändringar i överlappning orsakas främst om oväntad stor vertikalavvikelse uppkommer vid borrhjulet.

150 mm timmerstockar placerades på tvärled över styrbalken för att fördela krafterna från borrhjulen och undvika att styrbalken skulle knäckas.



Figur 3.9 - 1 Första etappen styrbalkar. Överst syns frigolitblocken fixerade, markerande lägena för sekantpålarna. Under, styrbalkarna gjutna och frigolitblocken borttagna. Delen närmast utskovskonstruktionen utfördes i ett senare skede.

3.9.3 Borrning och gjutning av pålarna

Foderrören drevs ner med en hydraulisk oscillator monterad på en kran. Från kranen vinschades en gripskopa ner inne i foderröret och grävde ur materialet, se Figur 3.9 - 2.



Figur 3.9 - 2 Gripskopen lyfts. Till vänster syns material som tagits upp ur foderröret med gripskopen.

Vid borrning i tätkärna hölls trycket i borrhålet konstant uppe vid dammkrönet för att undvika risken för bottenuppträckning. I övriga delar av dammen hölls vattennivån i foderröret över grundvattenytan där den påträffades.

När block påträffades i foderröret användes en fallmejsel för att splittra upp blocket i hanterbara delar som kunde tas upp med gripskopa. Mejseln användes även för att gå in i berg. Då bergytan enligt sonderingar bitvis kunde luta påtagligt beslutades att sekantpålarna skulle tränga in i berg som minst 0,5 m från bergkontakt. Detta för att säkerställa att en god anslutning till berg erhöles. I huvudsak utfördes borrning 0,8 – 0,9 m från första bergkontakt.

Mest tidkrävande för borrningen var mejslingen i berg. Normalt var framdriften ungefär en påle om dagen, inklusive gjutning. Normalt låg installationen av sekundärpål 1 – 6 pålar bakom primärpålarna, varierande beroende på framdrivningshastigheten. Antalet primärpål i förväg avpassades fortlöpande för att dessa skulle ha hårdat lagom mycket för att foderröret vid borrningen av sekundärpålarna inte skulle dra snett i primärpålarna, men inte heller trasa sönder dessa om de var för mjuka. Lämpliga tidsintervall provades fram under installationen av de första pålarna.

Vid gjutningen placerades ett injekteringsrör för pumpning av betongen, som sänktes till botten av det rensade foderröret mot grundläggningsytan. Röret lyftes ca 150 mm innan betongen började fyllas från rörets botten och uppåt. En plugg placerades i injekteringsröret som en barriär framför den första betongen för att undvika aggregat-

separation. Injekteringsröret drogs successivt uppåt allteftersom röret fylldes och hölls konstant 1,5 – 2 m under betongmassans överyta.

Överskottsvattnet från röret när betongen steg pumpades till en container för sedimentering. Samma vatten återanvändes sedan för nästa borrhål.



Figur 3.9 - 3 Foderrör under neddrivning. Oscillatorn vilar på träbjälkar för att inte skada de gjutna styrbalkarna. Till vänster syns mejseln som lyfts.



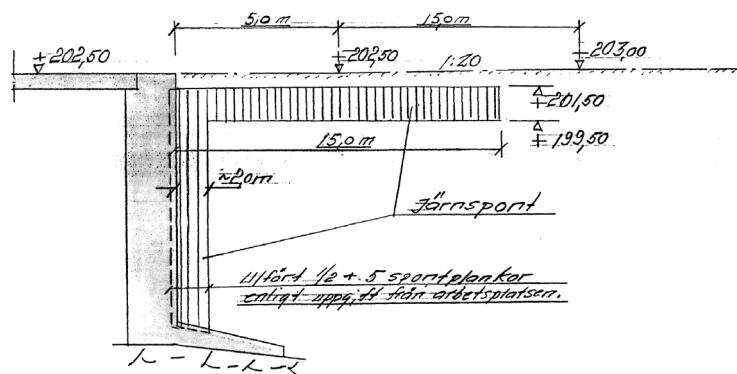
Figur 3.9 - 4 Foderröret monterat och hålls fast av oscillatorn. Kranen förbereder nedsänkning av mejsel i foderrör. Till höger dragning av flytande spont i tättkärnan närmast betongkonstruktionerna.

Vid gjutning av påle 70 havererade kranen och gjutningen avbröts. För att säkerställa att kontakten mellan gammal och ny betong var fullgod när arbeten kunde återupptas så togs en borrhäns genom pålen i kontaktzonen mellan pålarna. Kontrollen visade på god kontakt.

3.9.4 Anslutning till befintliga betongkonstruktioner

I vänster ände av dammen anslöts sekantpålsväggen till dammens befintliga betongkonstruktioner. Flera lösningar diskuterades innan slutlig utformning fastställdes.

Det diskuterades att enbart tränga in med sekantpålsväggen i den vertikala delen av tätkärnan närmast betongkonstruktionerna. Detta avslogs med hänvisning till att nedströms filter antogs vara av ogynnsam sammansättning eftersom skador uppkommit tidigare i dammen, samt att det inte kunde uteslutas att sprickor kunde uppkomma i tätkärnan under installationen av pålväggen och syftet med denna var att ersätta den befintliga tätningen i hela sin sträckning. Det skulle även innebära att en styv konstruktion infördes i tätkärnan där gradienten kunde bli ogynnsamt stor vid tätväggens ände. Utifrån detta beslutades det att sekantpålsväggen på något sätt skulle anslutas direkt till betongkonstruktionen.



Figur 3.9 - 5 Ursprungligt utförande av anslutningen mellan sidospelare och fyllningsdamm med flytande spont i tätkärnan.

I ursprungligt utförande för dammens tätning satt en stående spont monterad i anslutningen till betongkonstruktionerna, se Figur 3.9 - 5. De sex spontplanken närmast utskovspelaren var enligt uppgift ingjutna i en bottenklack och kunde inte dras.

De flytande spontplanken med underkanten ovan +199,50 vibrerades upp och togs bort från dammen i sin helhet innan arbetena med sekantpålningen började. Spontplankens längder visade sig avvika varierande med upp till flera meter från den angivna längden.

Den första lösningen som utvärderades var att fixera sekantpålsväggen mot utskovspelaren genom att borra in i denna. Detta är en lösning som använts framgångsrikt i tidigare projekt. Dock har det då ofta funnits en lutande betongyta att borra in i, samtidigt som mothåll kunnat tas under borrhningen mot en tidigare gjuten påle precis utanför betongväggen. I Spjutmo är utskovspelaren vertikal mot fyllningsdammen, vilket gör borrhningen svårare. Det går att borra genom en vertikal anslutning, men det

bedömdes även vara ogynnsamt med pelarens ytarmering, som man inte ville skada och som även försvårar styrningen.

Möjligheten att lägga den första sekantpålen dikt an mot utskovspelarens sida och injektera utrymmet mellan dessa utreddes. Problemet med denna lösning är att sekantpåleväggen delvis är elastisk. Beräkningarna visade på en viss utböjning i pålväggen, vilken teoretiskt skulle vara störst i ytterpelaren då den bara har stöd från ett håll.

Möjligheten att armera samtliga pålar närmast betongkonstruktionen diskuterades, men det bedömdes att det inte helt skulle lösa problemet. Som en följd av att gjutdelarna inte gjuts ihop så finns det en risk att injekteringen skulle spricka upp när väggen deformerades.

Den maximala läckagevolymen genom den vertikala fogen mellan sekantpåle och betongvägg skulle förmodligen vara begränsad, men även detta bedömdes som ogynnsamt då den ensidiga lastupptagande förmågan i sekantpåleväggen är liten. Om erosion uppträdde på nedströmsidan så att stödet för sekantpålen spolades bort kan denna på lång sikt knäckas.

Den kompletterande stödbanken på dammens nedströmssida hade spetsats av mot stödmuren mot utskovspelarens nedströmssida för att slippa höja denna, då den i så fall hade behövt förankras och förstärkas ytterligare. Dammen var alltså som smalast i anslutningen mot betongkonstruktionen. Sannolikheten att ett läckage skulle medföra urspolning av sådan omfattning att stödet från nedströms fyllning skulle bli för litet för sekantpålen bedömdes som nära obefintlig. Det var dock inte önskvärt att lämna en inbyggd svaghetszon i den nya konstruktionen. Målet med ombyggnaden var att i alla punkter erhålla en fullgod lösning ur långtidsperspektiv, som inte skulle kräva fortsatt övervakning.

Ett annat problem var den befintliga sponten, som sitter ingjuten i utskovspelaren i dammlinjen. Det var önskvärt att installera sekantpålen så nära mitten som möjligt av den vertikala tät kärnan, då denna skulle fungera dämmande under hela installationen.

Det var inte lämpligt att försöka borra genom den ingjutna stående sponten, varför anslutningen till utskovspelaren skulle behöva utföras antingen uppströms eller nedströms om denna, vilket bedömdes som mindre gynnsamt. Det fanns fler aspekter i detta, såsom arbetsmaskinernas bredd på dammens krön och behovet av att försöka behålla så mycket stödjande volym som möjligt på den nya tätningens nedströmssida, vilket fick bestämma var centrumlinjen för sekantpåleväggen slutligen borde placeras.

Möjligheten att försöka ansluta den första sekantpålen till de befintliga ingjutna spontplanken analyserades som ett alternativ och flera fördelar sågs med detta. Spontplankorna skulle kunna erbjuda en flexibel anslutning till sekantpålarna där en mindre utböjning av pålen kunde åtföljas av spontplankan och omgivande tätjord.

Svårigheter sågs bl.a. i att kvaliteten på spontlåset i den befintliga yttersta plankan var oklar. Det kunde inte uteslutas att låset deformerats under packningen av dammens tätkärna vid dammens uppförande. Av en slump visade det sig vid uppdragning av de flytande spontplanken att den plankan som var närmast de ingjutna planken till skillnad mot vad som visades på ritning var 16 m lång, se Figur 3.9 – 6 och nådde således till strax under en meter ovan betongfalsen på bergytan. Detta visade att spontlåset var i god kondition.



Figur 3.9 - 6 Dragning av spontplanka. Till höger lokal flytning i tätkärna kring dragen spont pga. vibrationer. Rester från trasig markisolering kan ses invid spontplankan.

Under uppdragning började flera av de flytande spontplanken att sjunka och fick fixeras för att inte försvinna ner i tätkärnan. Detta var en effekt av vibreringen, som fick tätkärnan att tillfälligt få nedsatt hållfasthet i direkt anslutning till den spontplanka som drogs upp, se Figur 3.9 - 6.

Överlast lades på planken närmast betongkonstruktionen för att säkerställa att inga fastgjutna plank av misstag drogs loss när de lösa planken vibrerades upp. Samtliga plank som drogs vibrerades först ner några centimeter för att kontrollera att de inte var fastgjutna i falsen.

Lösningen att dra upp den flytande sponten var inte uppenbar från början då man bedömde att det förelåg en viss risk för upphängning mot sponten. Risken fanns därigenom att tätkärnan skulle spräckas vid spontdragningen och en läckageväg skulle uppstå genom dammkroppen. För att undvika detta drogs spontplanken långsamt under vibration och noggrann övervakning.

En nämnvärd sättning i tätkärnan i omedelbar anslutning till spontplanken som drogs kunde noteras, dock inte större än att det bedömdes rimligt att fullgöra spontdragningen. Största sättningen uppträdde i läget för den uppdragna 16 m långa plankan med som mest 0,4 m med en diameter på sättningen på ca 1,2 m längs spontlinjen och 0,5 m vinkelrätt dammen. Inga tendenser till hävning noterades. Tätkärnan kring spontlinjen var gungig i någon dag efter det att spontplanken dragits upp, men stabiliserades sedan.

Vid dragningen av den långa icke ingjutna plankan visade sig låset vara i bra kondition och det beslutades att sekantpåleväggen skulle avslutas med närmsta pålen en decimeter från den i falsen fastgjutna spontplankan, varefter en 450 mm bred

spontplanka skulle vibreras ner i sekantpålen innan denna härdat och samtidigt i låset på den befintliga spontplankan.

Rör för injektering svetsades på spontplankan och pluggades i sin underkant. Syftet var att borra upp pluggen efter det att plankan monterats och injektera anliggningsytan mellan spontplanka och betongfundament när plankan vibrerats ner i falsen.

För att minska omgivningspåverkan användes en vibrator med variabel vibrationsamplitud. Vibratorn startades upp från noll till drivningsfrekvens utan vibration. Därefter ökades gradvis vibrationsamplituden till maximalvärdet. Under slutfasen av vibreringen minskades vibrationsamplituden från maximalvärdet till noll innan vibratorn stängdes av.

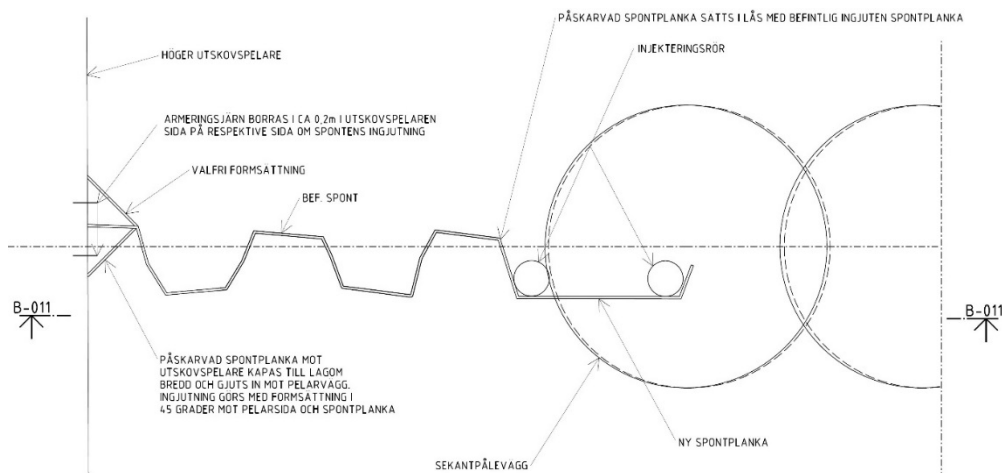
Efter färdig installation borrades pluggarna upp och vidare en meter ner i betong och berg innan hela kontaktzonen upp till spontplankans underkant injekterades. Mycket låg inträngning noterades i kontaktzonen och berget bedömdes vid vattenförlustmätning som tätt. Injektering utfördes med cementbruk, $v_{ct}=0,8$, injekteringscement, med stopptryck 200kPa. Ett dygn efter att den första injekteringen avslutats borrades det andra påsvetsade röret igenom, på spontplankans nedströmssida och injektering utfördes där på samma sätt som på spontplankans uppströmssida.

Vid installation av sekantpålarna närmast spontväggen borrades dessa, för att säkerställa en god anslutning, genom betongfundamentet mot bergytan och ca 0,8 m ner i berget under betongfundamentet. Det var oklart hur betongfundamentet var utformat och utifrån uppgifterna från borrhningen, varvid armeringsjärn och betong togs upp, sträckte sig fundamentet ett par meter in under fyllningsdammen, likartat murens fot i Figur 3.9 - 5.

I detta avsnitt fanns dock enligt ritningen ingen stående spont, utan bara ytligt flytande. Fundamentet skulle enligt ritning vara försett med en fals för placering av den stående sponten och kunde antas vara även i övrigt för ojämnt för att en fullgod anslutning skulle kunna erhållas mot detta med sekantpålen. Det beslutades därför att fundamentet skulle borraras igenom innan pålen göts ner i berg och den kompletterande spontplankan vibrerades ner tills den träffade i falsen.

Vid upptagningen av material från borrhningen ner i berg kunde injekteringen från byggtiden under utskovspelarens fot (under falsen) studeras och konstaterades vara väl utförd och intakt.

Hade inte spontslagningen lyckats var planen att driva två linjer av små sekantpålar med 400 mm diameter på respektive sidor om den befintliga sponten. Dessa skulle borraras in i den huvudsakliga sekantpåleväggen och i sin andra ände läggas dikt an mot betongkonstruktionen och området däremellan, inklusive den befintliga sponten, injekteras igen. Detta var dock ingen önskvärd lösning då de mindre sekantpålarna bara kunde installeras med luftdriven utrustning, vilken riskerar att blåsa bort finkorniga partiklar från tåtkärnan.



Figur 3.9 - 7 Anslutning mellan sekantpålsvägg och befintlig inmätt spont. Helden cirkel avser sekantpålens läge i dammkrön. Streckad linje avser pälens läge i anslutning till bergnivån under betongklacken med spontfalsen. Överst avstånd mellan styrbalk och lås på yttersta spontplankan.

3.9.5 Pålarnas dimension och centrumavstånd

Sekantpålsväggen beslutades ur ett tekniskt ekonomiskt perspektiv att utföras med en påldiameter på 1,2 m med ett c/c avstånd på 1,0 m. De genomförda beräkningarna bedömdes vara representativa även för denna diameter.

För att säkerställa en god täthet mellan de individuella sekantpålarna sattes minsta tillåtna överlappning i tvärled, där väggen är som smalast, till 200 mm. Detta avser båg-längden i kontaktytan mellan två pålar där de skär in i varandra. Noggrann mätning är erforderlig för att dokumentera om avdriften mellan två intilliggande pålar uppträder åt motsatta håll.

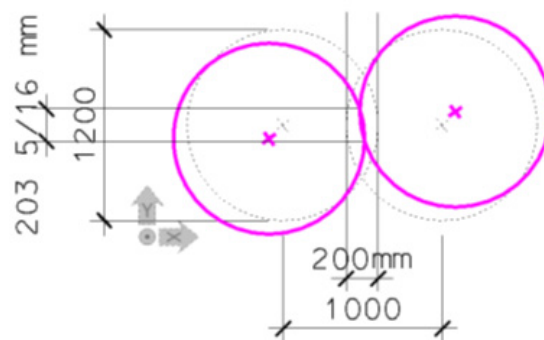
I det fall att en sådan divergerande avvikelse uppmätts, så utförs normalt en kompletterande mindre sekantpåle i anslutningen mellan de två divergerande pålarna, för att täta glipan mellan dessa. Det bör dock även medräknas att en övergjutning alltid uppkommer när gjutning sker under uppdragning och utrymmet för foderröret och kringliggande håligheter fylls med betong.

Den teoretiska mätningen av avvikelse i vertikalled, inklusive noggrannheten i mätinstrumentet, har därigenom en konservativ marginal och den egentliga pålen blir alltid större än den teoretiskt uppmätta.

Normalt erhålls vid installation av sekantpålar, om inga särskilda åtgärder utförs för att öka noggrannheten, en avvikelse från vertikalaxeln på ca 0,5 – 0,6 % av djupet. Värsta möjliga fall med divergerande avvikelse ger en sammanlagd avdrift mellan två pålar på något över 300 mm i sidled på 26 m djup. Gränsen för tillåten bristande överlappning sattes vid denna nivå då bedömningen gjordes att den nya tätningen behövde vara helt tät ovan denna nivå, emedan ett visst fortsatt läckage kunde tillåtas i nedre delen av de naturliga marklagren. Det var vid detta tillfälle även osäkert hur djupt pålarna slutligen skulle drivas då bergläget inte var känt längs hela linjen för den planerade väggen och inte heller undergrundens sammansättning. Om mycket hårt lagrad bottenmorän påträffades skulle det övervägas att avsluta pålarna mot denna, istället för att gå ända ner i berg.

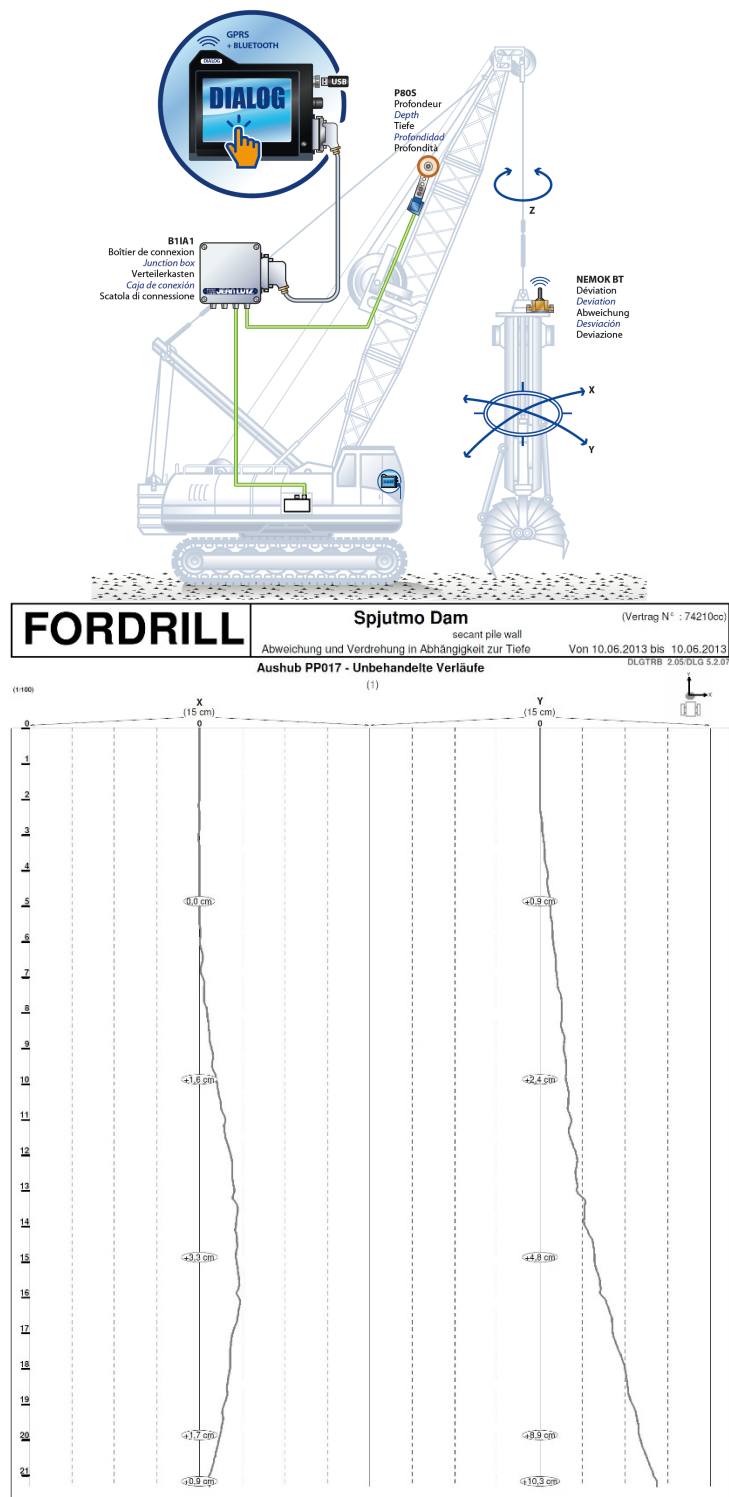
En divergens i sidled på 300 mm överskrider den teoretisk tillåtna minsta överlappningen i tvärlängd på 200 mm. Normalt driver dock pålar åt samma håll vid installation och divergerar inte åt direkt motsatt håll. Detta både beroende på det kringliggande materialet och på att sekundärpålarna tar tag i primärpålarna vid neddrivning.

Den längsta pålen var ca 37 m, vilket ger en maximalt tillåten vertikal avvikelse på ca 2,4 mm/m för att säkerställa att de föreskrivna 0,2 m kontaktyta bibehålls i botten av pålarna för att väggen skall vara helt tät. För 20 m påle blir den maximala toleransen ca 4,2 mm/m. Krav på överlappning framgår av Figur 3.9 - 8. Dessa gränsvärden förutsätter att ingen avvikelse tillåts från startpunkten (avvikelse i topp). Denna är normalt kring 20 - 50 mm och startpunkten behövde därigenom sättas ut med större precision än normalt.



Figur 3.9 - 8 Krav på överlappning mellan två intill varandra belägna förskjutna pålar.

Det går att erhålla en ökad noggrannhet och minskad vertikal avdrift vid borrning. Detta kräver dock att neddrivningshastigheten vid borrning av foderröret minskas och utförs med större överlast på oscillatoren, vilket är tidsödande. Alternativt kan centrumavståndet mellan pålarna minskas, vilket dock också är tids-, och kostnadsdrivande, eftersom fler pålar behöver utföras.



Figur 3.9 - 9 System för mätning av vertikalavvikelse och exempel på mätprotokoll i två riktningar för en påle.

Genom att öka överlasten på oscillatoren till som mest 33 ton kunde precisionen vid installationen i Spjutmo ökas så att maximal avvikelse enligt beräkningarna skulle hålla sig inom 0,3 %.

Det kan dock inte tas för givet att denna tolerans kan hållas, varför stora krav ställdes på övervakning av pålens läge och kontinuerlig uppföljning av verklig divergens från lodlinjen. För detta användes ett mätsystem av märket Jean Lutz för övervakning av pålens riktning, se Figur 3.9 - 9.

Resultatet från borrhningen visade en högre noggrannhet än de antagna marginalerna för normal avdrift. Vertikalavvikelsen vid neddrivning av sekantpålarna höll sig normalt inom ca 0,1 m och en god kontroll på verklig avvikelse kunde hållas med vinkelmätaren som monterats på oscilatorn.

Endast i en punkt uppmättes, utan att beakta övergjutningen, en jämfört med kraven bristande överlappning mellan två pålar där 200 mm tvärgående överlappning inte uppfylldes. En kompletterande mindre påle drevs ner mellan dessa pålar.

Kraven som sattes för toleranser i avvikelser var ett avsteg från EN-1536. I vanliga fall är det sannolikt att en någon tätare överlappning väljs med de täthetskrav som under projektets gång fastställdes för Spjutmo.

3.9.6 Anslutning mot berg

Påle 001 – 007 borrades genom betongklacken invid betongkonstruktionen. Övriga pålar gick direkt in i berg. Vanligtvis borrades pålarna 0,5 – 0,8 m in i berg för att säkerställa att en god kontakt erhållits. Berget var i samtliga pålar fast och hårt. Mejslingen för att tränga in i ytberget motsvarade ungefär halva borrhningstiden per borrhål.

I en punkt vid påle 22 och 23 noterades en avvikelse mellan förväntad bergnivå mellan vad som angivits vid tidigare JB-sondering och var bedömt berg påträffades vid borrhning för sekantpålarna. Bergnivån påträffades ca 3 m högre upp för sekantpålarna i denna punkt än antaget. För att säkerställa att bergkontakt erhållit utfördes kärnborrhning genom pålens botten tre meter ner i berg och ner under den nivå där JB-sonderingen registrerat bergkontakt. Vattenförlustmätning utfördes i borrhålet.

Resultatet från mätningen var något tvetydigt, varför bergets konduktivitet under pålens grundläggningsnivå var något oklar. En analys av borrhkärnorna visade en zon av krossat berg ca 1,5 m under bergets överyta. Borrhålet återinjekterades dock utan att någon större bruksåtgång kunde noteras.

3.9.7 Pelarväggens överyta och dammkrön

Som en följd av gjuttekniken där betongen pumpas in genom ett rör som leds ner till den blivande pålens botten trycks eventuellt vatten och tunnare blandningar av betongen uppåt överst i röret. Normalt överpumpas så att de lösare blandningarna flyter över rörmynningen, tills det att foderröret under uppdragning är fyllt med enbart bra betong.

Av miljöskäl bedömdes det i Spjutmo olämpligt att tillåta överströmning av lättflytande cementblandningar då det inte kunde uteslutas att detta skulle söka sig med grundvattnet ut i älven och svårigheter fanns med att pumpa och behandla stora mängder halvbra betong.

Detta löses normalt genom så kallad chippning, där pålen utförs till en högre nivå än den avsedda och att den översta sämre delen av sekantpålen därefter kapas. Denna lösning diskuterades i Spjutmo. Samtidigt var det inte helt klarlagt hur den framtida

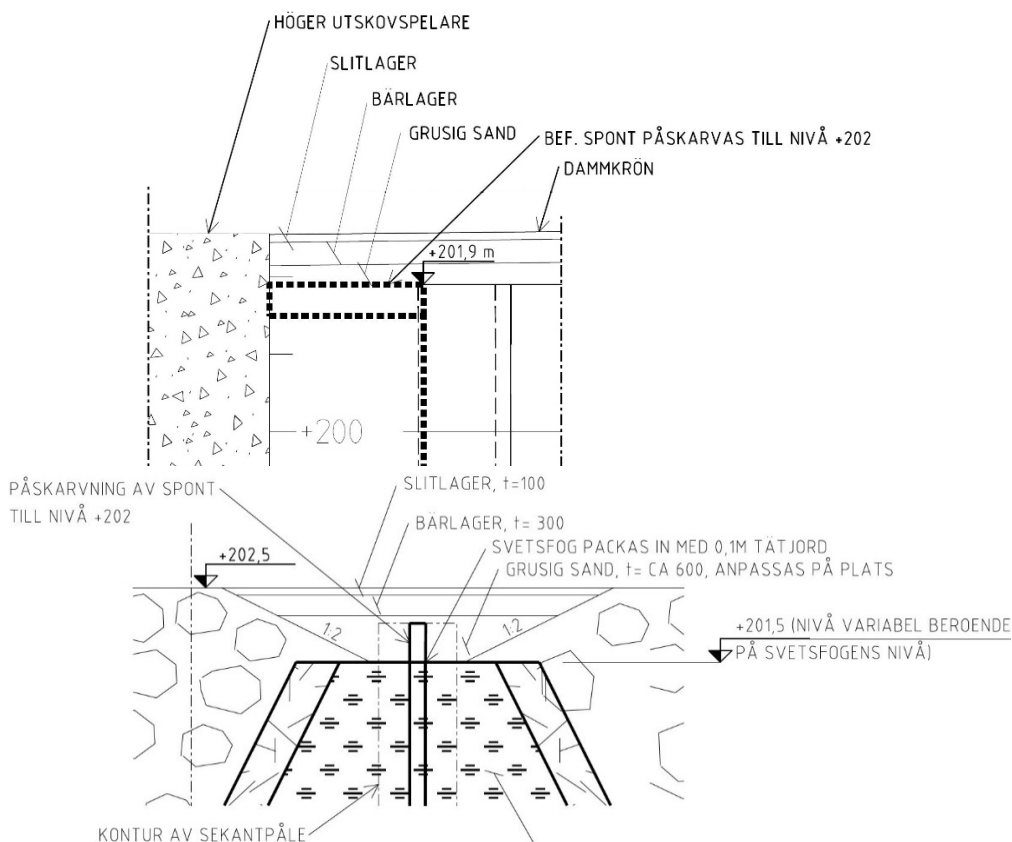
flödeshanteringen skall lösas vid anläggningen, varvid en viss överdämning vid höga flöden i älven kan vara aktuell till en högre nivå än dämmningsgräns.

Tills vidare bestämdes att det skulle säkerställas att sekantpåleväggen utfördes med fullgod betong upp till nivån +202 i dammens normalsektion (lägre i anslutningen till betongkonstruktionerna) och att en eventuell höjning skulle lösas i ett senare skede genom en pågjutning av en betongbalk på sekantpåleväggens krön.

För att underlätta detta avsågs väggens överyta att successivt under utförandet justeras, så att dess överyta var så plan som möjligt redan efter gjutning och om möjligt avslutas i nivå med överkanten för styrbalkarna. I efterhand fick en krönbalk gjutas på då en kontrollmätning visade att sekantpålarnas överyta på grund av ett missförstånd hade avslutats 0,1 m för lågt. Ovanpå detta återställdes krönet med bärlager och asfalterades.

I anslutningen till betongkonstruktionerna schaktades tätkärnan ner i anslutningen till sponten. Sponten svetsades på och förlängdes för att nå upp till +201,9 och en kompletterande ingjutning mot betongkonstruktionen utfördes, se Figur 3.9 - 10.

Tätplåtar bultades in i den befintliga betongkonstruktionens sida för att kunna kringgjuta den höjda spontens anslutning och skapa en helt tät anslutning mot utskovspelaren. Den höjda sponten kringfylldes till +201,5 med finkornig morän som packades med padda. Överbyggnaden isolerades och farbanan med förstärkningslager, 150 mm bärlager och 110 mm asfalt återställdes.

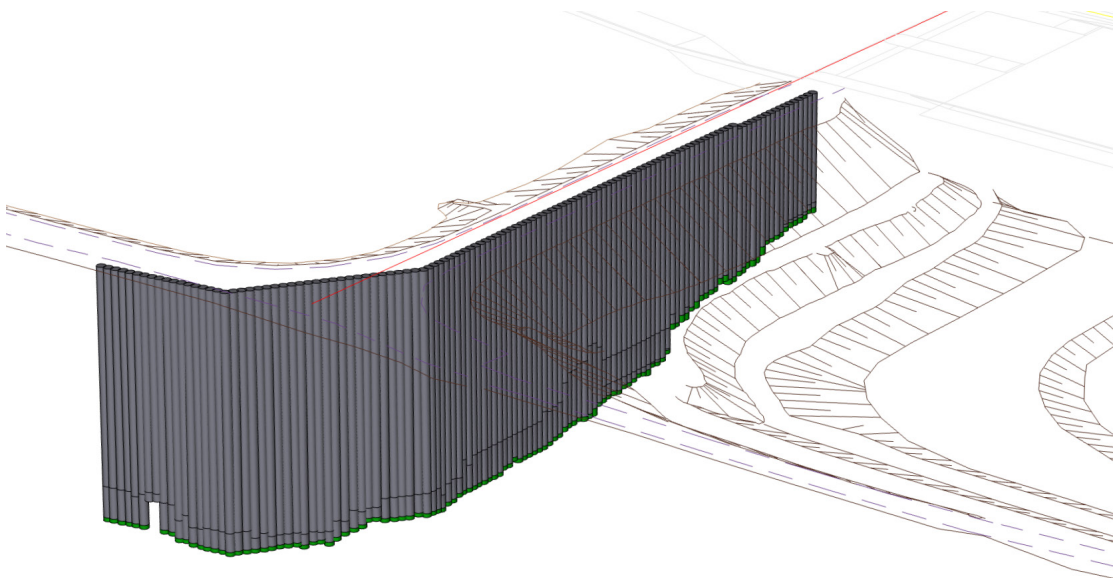


Figur 3.9 - 10 Längd-, och tvärsnitt av anslutningen mot betongkonstruktionen. Befintlig järnspont anslöts till sekantpåleväggen med en ny spontplanka. Järnsponten svetsades på och höjdes till +201,9, vilket var den ursprungliga överytan för sekantpålarna.

3.10 UPPFÖLJNING AV FUNKTION

Inför arbetena lades energi på att tillfälligt täta samtliga påträffade inläckagepunkter i uppströms tätning. Detta gjordes dels för att tillfälligt förhindra ett accelererande skadeförlopp och dels för att ingen koncentrerad strömning skulle kunna förekomma förbi läget för den planerade sekantpåleväggen under gjutning. Fortlöpande kontroll hölls därför av lagningsområdena i magasinet under uppförandet av väggen, för att verifiera att den befintliga tätningen inte drabbades av förnyade skador under arbetenas gång.

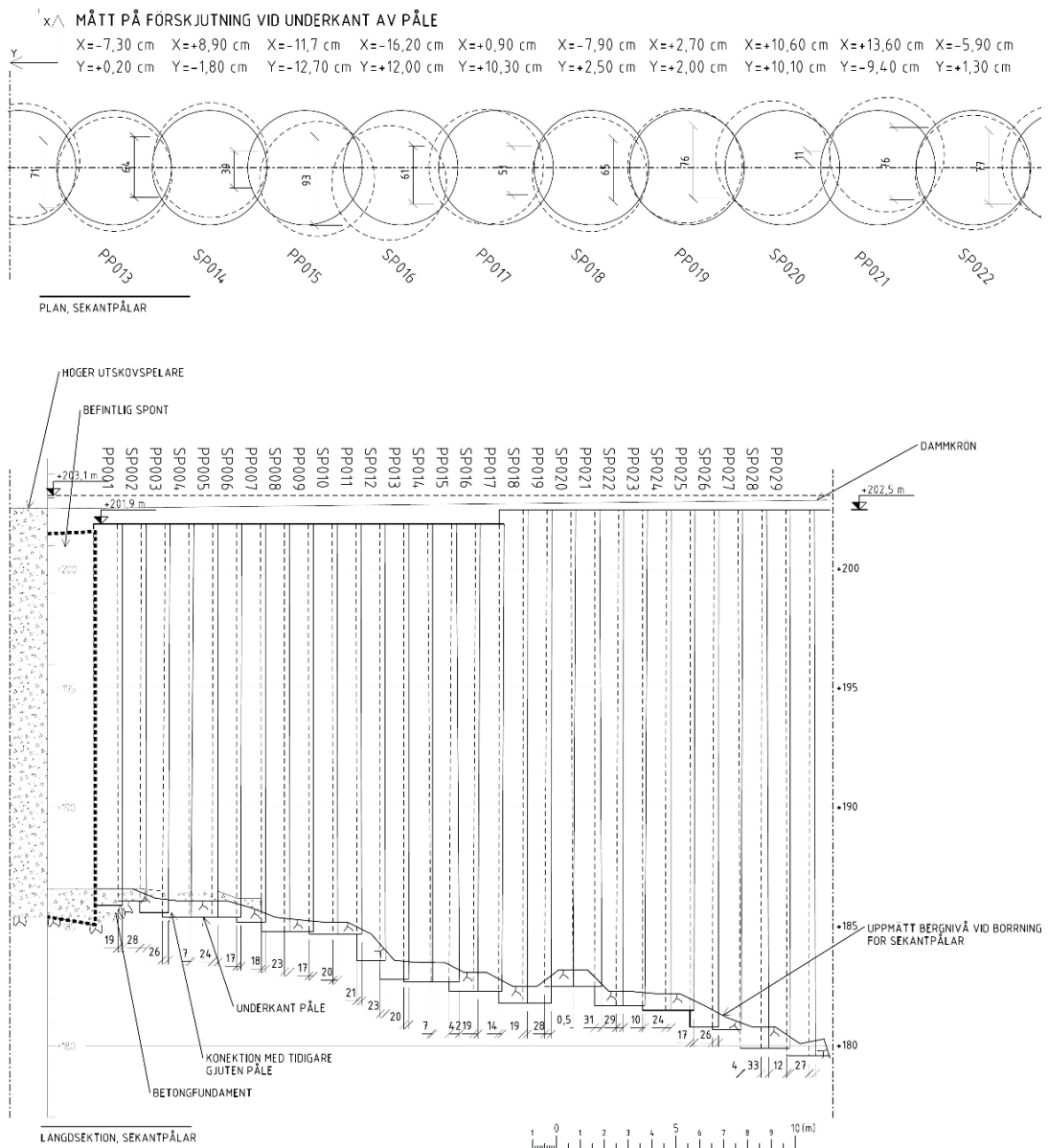
Efter det att sekantpåleväggen färdigställts kunde det konstateras att grundvattenytan på dess uppsida låg på i princip samma nivå som i åsen på höger sida, kring + 190, vilket är ca 11 m under magasinsvattenytans nivå. Detta visade att den tillfälliga tätningen av panur och tätkärna fortfarande höll tätt efter avslutade arbeten, liksom tätningspanuren i magasinets slänt mot åsen. Utrymmet mellan den ursprungliga tätningen och sekantpåleväggen står så länge panuren håller tätt i mer hydraulisk kommunikation med åsen än med magasinet.



Figur 3.10 - 1 Slutligt utförande av sekantpålevägg. Grönt i botten av pålarna avser inträngning i berg. Luckan till vänster i bild i botten av pelarna avser träff i ett stort block. Då detta är mer än 30 meter ner i naturlig mark och i väggens förlängning in i åsen bedömdes det inte nödvändigt att mejsla igenom det påträffade blocket.

Om sekantpåleväggen vore helt tät och inget läckage förekommer under eller vid sidan av väggen kan en horisontell något högre vattennivå än den registrerade förväntas. Detta tyder på att ett litet läckage förekommer någonstans under väggen då mätningarna i vattenståndsrören visar att gradienten lutar svagt mot utskovet, istället för mot åsen. Temperaturmätningarna i rören närmast utskovet tyder dock på att väggen där är tät.

En trolig punkt för ett läckage skulle kunna vara kring påle 22 där bergläget vid borrningen för pålen bedömdes ligga nästan 3 m högre än i den bestämning som tidigare gjorts med jord-bergsondering och en krosszon i berget påträffades vid kontrollbörning. Temperaturmätningarna nedströms tätväggen tyder på att ett eventuellt läckage i så fall är mycket litet, då det inte registreras i mätpunkterna.



Figur 3.10 - 2 Exempel på pålredovisning av pålarna närmast betongkonstruktionerna visande uppmätt överlappning och bergkontakt.

Nivåskillnaden i vattenstånd längs uppströmssidan av väggen är så pass liten att det inte behöver innebära att ett nämnvärt tryckfall förekommer längs sekantpålsväggens uppströmssida, utan att vad som registreras är naturliga variationer beroende på vilket material mätspetsen i uppströmsrören placerats i. Det kan därför inte entydigt sägas att gradienten faller mot utskovet.

Vidare registreras temperaturvariationen i vattenståndsrör vid sekantpålsväggens anslutning till åsen för att övervaka att vattenströmningen i detta område inte uppvisar några större lokala avvikelser, som skulle kunna medföra risk för inre erosion längs väggens yta.

I Figur 3.10 - 1 visas en modell av den slutliga utformningen av sekantpålsväggen. Figuren är tagen från nedströmshållet med pålväggens vinkling mot uppströmshållet

till vänster i bild och anslutningen till betongkonstruktionerna till höger. I Figur 3.10 – 2 visas exempel på mätredovisning från installation av pålarna.

I juni 2016 genomfördes en andra kontrollmätning av inklinometerrören i sekantpåleväggen. Aluminiumrören 019 och 081 konstaterades vara skadade och gick inte att mäta till fullt djup. Detta är ett problem som även tidigare noterats med rör av aluminium pga. elektrisk korrosion. I den del av rören som kunde mätas, noterades dock inga nämnvärda avvikelser som kunde relateras till dammen, se Tabell 3.10 - 1. Avvikelser i rörens funktion kunde dock noteras som t.ex. skador i styrspåren.

Tabell 3.10 - 1 Uppmätta deformationer i inklinometerrören jämfört med utgångsmätningen 2014-03-27.

Rör	Installerat djup (m)	Uppmätt djup 2016 (m)	Rörtyp
019	19	17,5	Al
039	29	29	Plast
081	30	27,5	Al

För rör 039 noterades som mest ca 2 mm förskjutning åt uppströmshållet i rörtopp, vilket är inom förväntade avvikelser. Inga nämnvärda rörelser noterades i rör 081.

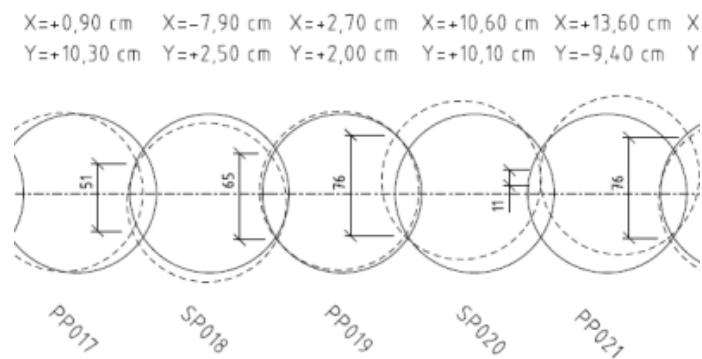
I rör 019 noterades en smärre parallellförskjutning på ca 3 – 4 mm i riktning mot utskovet i rörets övre del. Den uppmätta rörelsen är avtagande med djupet och insignifikant under 12 m djup. Rörelsen är så pass liten att den kan rymmas inom felmarginalerna, men kommer att utvärderas fortlöpande under kommande mätningar.

Påle 019 sitter med god överlappning i de omkringliggande två pålarna. Den största åtgången av överbetong var vid påle 21 – 22, där ca 25 % mer betong än pålens volym åtgick vid gjutning, vilket tyder på att påle 019 sitter i närheten av det största skadeområdet. Vid schaktning för gjutning av påle 20 – 21 påträffades även stora mängder Rådasand från infiltrationen i magasinet och det var här en extra minipåle installerades pga. misstanke om bristande kontakt mellan dessa två pålar, se Figur 3.10 - 3.

Det är också här som JB-sonderingen antydde att det kunde finnas en krosszon i berget under sekantpåleväggen. Ingen nämnvärd vattenförlust noterades dock vid provborrningen genom pålen och ner i berget. Brister förekom dock vid vattenförlustmätningen, vilken utfördes med en tryckning över hela borrhålets höjd och en genomsnittlig vattenförlust beräknades över hela höjden. Det kan inte uteslutas att påle 019 pga. av utförda åtgärder invid de intilliggande pålarna skulle ha pressats något åt vänster.

PLAXIS-beräkningen gav att deformationerna i väggen skulle bli ganska små, som mest 24 mm åt nedströmshållet i kontaktytan mot ursprunglig undergrund. Modellen var dock inte helt i överensstämmelse med väggens slutliga utförande, men kan ändå antas ge en rättvisande bild av ungefärliga förväntade deformationer.

Tyvärr installerades inklinometerrören för sent för att kunna fånga eventuella initiala deformationer efter färdigställandet av väggen, då större delen av deformationen kan antas ha utvecklats månaderna innan inklinometerrören installerades.



Figur 3.10 - 3 Vid borrningen uppmätta avdrifter vid påle 017 - 021.

Att i princip inga deformationer uppmätts sedan utgångsmätningen verkar tyda på att inga ytterligare förskjutningar av nämnvärd magnitud fortgår, oavsett vad som händer i början. Förslagsvis görs en ytterligare mätning om ca 5 - 6 år för att kontrollera att deformationerna avstannat.

Läget för maximal utböjning i PLAXIS-beräkningen verkar inte ha någon koppling till lägena där stopp noterats i rören, utan stoppen kan med stor säkerhet hänföras till skador i rören orsakade av korrosion. Rören kommer att rensas och försök görs för att göra dessa funktionsdugliga.

ERSÄTTNING AV TÄTKÄRNA MED SEKANTPÅLAR

Efter att skador uppträtt i tätningen i höger fyllningsdamm i Spjutmo beslutade ägaren att ersätta moränkärnan i hela dess längd. Efter en urvalsprocess valde ägaren att installera en sekantpålevägg ned till berg över hela dammens längd. Detta är första gången denna teknik tillämpats för permanenta åtgärder på en fyllningsdamm i Sverige.

Rapporten beskriver urvalsprocessen som ledde fram till åtgärden och de erfarenheter som dokumenterades under reparationen.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk