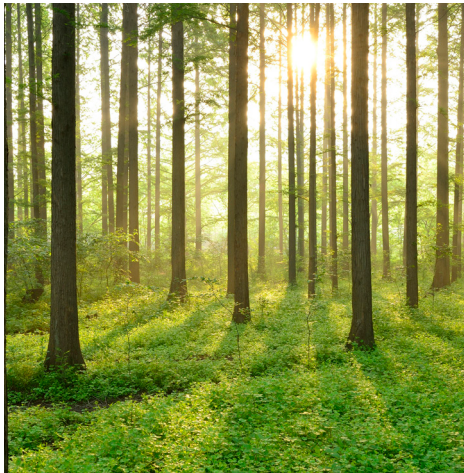


REPARATIONSMETODER FÖR FYLLNINGSDAMMAR

RAPPORT 2016:333



Reparationsmetoder för fyllningsdammar

Sammanställning av erfarenheter med
relevans för svenska förhållanden

INGVAR EKSTRÖM, ÅKE NILSSON OCH PETER WILÉN

ISBN 978-91-7673- 333-2 | © 2016 ENERGIFORSK

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

Förord

Syftet med det här projektet har varit att sammanställa och tillgängliggöra erfarenheter om reparationsmetoder för fyllningsdammar och sammanställa fortsatta utvecklingsbehov inom området.

Rapporten beskriver reparationsmetoder för fyllningsdammar och ger en sammanställning med relevans för svenska förhållanden. Den innehåller en genomgång av vanliga typer av dammsäkerhetshöjande åtgärder. Metoder som använts för att uppgradera dammens tätande funktion beskrivs och för- och nackdelar med dessa diskuteras.

Uppdraget utfördes av Ingvar Ekström Sweco Energuide AB, Åke Nilsson WSP Sverige AB och Peter Wilén Norconsult AB.

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

Rapportförfattarna ansvarar för rapportens innehåll.

Stockholm december 2016

Sara Sandberg

Sammanfattning

Frågor om dammsäkerhet har under de senaste decennierna uppmärksamats allt mer i Sverige. 1990 utkom riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Kraftindustrin utvecklade därefter heltäckande riktlinjer för dammsäkerhet, RIDAS, som antogs 1997. Riktlinjerna innebar sammantaget nya krav på ett flertal områden, och under den senaste 20-årsperioden har omfattande insatser gjorts för uppgradering av befintliga dammanläggningar.

Denna rapport beskriver vanliga typer av dammsäkerhetshöjande åtgärder som genomförts för svenska fyllningsdammar. Gemensamt för många fyllningsdammar är att åtgärder har genomförts för att

- Skydda uppströmsslänten mot erosion av vågor och is
- Möjliggöra överdämning för hantering av extrema flöden
- Motstå stora läckage genom dammkroppen eller grunden
- Förstärka anslutningar mot betongkonstruktioner

Förstärkningarna har anpassats efter anläggningsspecifika behov och är därför unika för varje damm. Allmänt förekommande åtgärder omfattar bl.a.

- Nya erosionsskydd av grova block av dammens uppströmsslänt
- Höjningar av tätjärna och dammkrön
- Kompletterande dränage längs nedströms dammtå i kombination med tåförstärkning eller stödbank av sten mot nedströmsslänten
- En kombination av ovanstående vid fyllningsdammsanslutningar till betongkonstruktioner

Vad gäller åtgärder för att säkerställa dammars förmåga att motstå stora läckage, så har i första hand dränerande och stabiliserande åtgärder genomförts. Dessa åtgärder påverkar dock inte orsakerna till att läckage och inre erosion uppkommit.

För ett mindre antal svenska dammar har uppgradering av dammens tätzon bedömts vara nödvändig, och ny tätning har utförts genom bl.a. slitsmurar ("slurry walls" och "diaphragm walls"), rörpålar, sekantpålar eller olika typer av injektering.

I något fall har kompletterande dränage installerats i dammkroppen i form av sanddräner.

I rapporten beskrivs metoder för att uppgradera den tätande funktionen översiktligt, och för- och nackdelar diskuteras. Metoderna belyses vidare med ett antal praktikfall där genomförande och erfarenheter från svenska, och i något fall utländska, fyllningsdammar beskrivs. Medan de svenska erfarenheterna av sådana inre tätande eller dränerande åtgärder i dagsläget är begränsade, så används de mer allmänt utomlands. Bedömningen är att det i framtiden kommer att bli vanligare att nya tätskärmar införs i befintliga fyllningsdammar även i Sverige.

Summary

The focus on dam safety has gradually increased during the last 20 – 30 years in Sweden. In 1990 the first national Swedish guideline for determination of design floods for dams was published by Flödeskommittén. Thereafter, the hydropower industry developed a guideline on Dam Safety (RIDAS), which was approved in 1997. Together, these two guidelines notably increased the dam safety demand, and during the last twenty years extensive dam rehabilitation and upgrade works have been carried out, in particular to the Swedish high consequence of failure dams. This report describes different methods of increasing the embankment dam safety, which have been commonly applied to Swedish embankment dams. Common general upgrade measures, initiated by the guidelines, concerns:

- New upstream riprap, with an outer layer of coarse boulders to protect the upstream slope from erosion induced by wave and ice action
- Raising of embankment dam core and crest to create additional storage capacity to allow a reservoir level above the maximum retention level to safely pass or impound extreme floods
- Supporting berm against the downstream slope, with complementary drainage system, to increase erosion resistance and/or increase the factor of safety during extreme loading conditions and thereby preventing catastrophic damage to the embankment dam during excessive leakage through the dam or its foundation
- Strengthening of the interface between the embankment dam and concrete structures with a combination of the above mentioned methods and replacing or complementing existing sheet pile

The rehabilitations and upgrade works have been adapted to the specific site conditions for each individual dam and are therefore unique. To enhance the embankment dam capability to safely pass potential large leakage volumes, draining and stabilizing measures on the downstream slope and dam toe have been most common. Neither of these methods do however address the origin of the leakage, or the potential for internal erosion in the dam or its foundation. These methods mainly serve to increase the slope stability and unravelling stability in the downstream slope and dam toe. In a number of small to medium sized dams it has been necessary to repair or entirely replace the core function and a new water retaining structure has been installed. This involves for example slurry and diaphragm walls, drilled steel sheet piles, secant piles, or different types of grouting. In some case complementary drainage has been installed in the downstream supporting fill and/or foundation of the dam to control the gradient in the dam body.

Different methods to repair or replace the water retaining function are described in general in this report and advantages and disadvantages with each method are discussed, taking local circumstances into account. A number of case studies are presented, including the experiences obtained from completed upgrades and repairs. The case studies involves mostly Swedish dams, but also other methods that are likely to have a future application in Sweden, international examples are briefly described. As many of the core replacing repair methods are becoming gradually more economically and technically feasible, it can be assumed that projects involving core replacement repair methods will become more common in Sweden.

Innehåll

1	Inledning	12
2	Vanliga åtgärder för uppgradering av dammsäkerheten för fyllningsdammar	13
2.1	Orientering	13
2.2	Erosionsskydd	14
2.2.1	Allmänt	14
2.2.2	Erosionsskydd av sprängsten	14
2.3	Dräneringar och mätöverfall längs nedströms dammtå	16
2.3.1	Tillämpningsområde	16
2.3.2	Dimensionering och utformning	16
2.4	Tåbankar längs nedströms dammtå och stödbankar ibland ända upp till dammkrön	18
2.4.1	Tillämpningsområde	18
2.4.2	Dimensionering och utformning	19
2.5	Höjning av tätkärnan	20
2.5.1	Allmänt	20
2.5.2	Metoder	20
2.6	Anslutning av fyllningsdammar till betongkonstruktioner	22
2.6.1	Allmänt	22
2.6.2	Exempel på åtgärder	23
3	Nya tätskärmar för att uppgradera den tätande funktionen	26
3.1	Orientering	26
3.2	Tätskärm som schaktas som kontinuerlig slits med grävmaskin (slurry wall)	26
3.3	Tätning som schaktas med anpassad utrustning i paneler (diaphragm wall)	27
3.4	Tätskärm med rörpålar	29
3.4.1	Allmänt	29
3.4.2	Användningsområde	29
3.4.3	Rörväggens hållfasthet	30
3.4.4	Låsprofiler och täthet	30
3.4.5	Borrmeter och överborrning	32
3.4.6	Grundläggning i berg	33
3.5	Tätning som byggs upp med sekantpålar (secant piles)	33
3.5.1	Allmänt	33
3.5.2	Prisbild för reparationsmetoden	37
3.5.3	För- och nackdelar sekantpålevägg	37
3.6	Injektering som reparationsmetod	38
3.6.1	Allmänt	38
3.6.2	Injektering i Sverige och internationellt	38
3.6.3	Injekteringsmetoder	38

3.6.4	Injektering som reparationsmetod i Sverige	39
3.6.5	Utveckling av Jetinjektering	40
3.6.6	Utförande av injekteringsskärmar i berg	42
3.7	Tätningar som byggs upp genom blandning av befintligt jordmaterial med t.ex. cement (soil mixing)	42
3.7.1	Allmänt	42
3.7.2	Trenchmix	45
3.7.3	Cutter Soil Mixing	45
3.8	Dränering som alternativ till NY tätning	46
3.9	För och nackdelar mellan de olika metoderna	47
4	Tätning med slits, utförande som tätdike (slurry wall) eller paneler (diaphragm wall)	49
4.1	Orientering	49
4.2	Slurry wall – Juktan Damm	49
4.2.1	Bakgrund	49
4.2.2	Reparation/ombyggnad	52
4.2.3	Erfarenheter	53
4.3	Slurry wall - Lövön Damm	53
4.3.1	Bakgrund	53
4.3.2	Reparation/ombyggnad	55
4.3.3	Utrustning och erfarenheter	56
4.4	Diaphragm wall – Hinze Dam	57
4.4.1	Orientering	57
4.4.2	Tidig inblandning av entreprenörer och utomstående specialister	57
4.4.3	Diaphragm wall	58
4.4.4	Risker, kontroll och åtgärdsplaner	58
4.4.5	Informationskällor	59
5	Ersättning av tätning med rörpålar – praktikfall Vojmsjön	60
5.1	Anläggningsbeskrivning	60
5.2	Problemställning	61
5.3	Val av reparationsmetod	62
5.3.1	Allmänt	62
5.3.2	Slitsmur	63
5.3.3	Sekantpålar	63
5.3.4	Jetinjektering	63
5.3.5	Spont	63
5.3.6	MDM	63
5.3.7	Rörpålar/rörspont	64
5.3.8	Val av metod	64
5.4	volymer	64
5.5	Genomförande av reparation	65
5.5.1	Allmänt	65

5.5.2	Förarbeten	66
5.5.3	Borrning	66
5.5.4	Foderrör	68
5.5.5	Betongfyllning	70
5.5.6	Erfarenheter	70
6	Ersättning av tätning med sekantpålar – praktikfall Spjutmo	73
6.1	Bakgrund och anläggningsbeskrivning	73
6.2	Utvärdering av reparationsmetoder	73
6.2.1	Allmänt	73
6.2.2	Stålrörsspont	74
6.2.3	Jetpelare	74
6.2.4	Sekantpålar	74
6.2.5	Slitsmur	74
6.2.6	Vertikal tätvägg av injektering i dammlinjen och komplettering av skadad panur i magasinet	75
6.2.7	Membran över och kring de skadade områdena	75
6.2.8	Slutligt metodval	75
6.3	Beräkningar och materialval	76
6.4	Vattentäthet och dämmande funktion för sekantpålar	76
6.5	Miljöaspekter	76
6.6	Kommentarer kring utförandet	77
6.6.1	Förberedande åtgärder	77
6.6.2	Styrbalk	77
6.6.3	Borrning och gjutning av pålarna	78
6.6.4	Pålarnas dimension och centrumavstånd	79
6.6.5	Anslutning till betongkonstruktionerna	80
6.6.6	Uppföljning av arbetena	81
7	Exempel på reparationsinjektering	83
7.1	Orientering	83
7.2	Grundläggningsförhållanden	83
7.3	Reparationsåtgärder – vänster damm	84
7.3.1	Inledning	84
7.3.2	Jordinjektering	84
7.3.3	Injektering av kontakten mellan jord och berg	85
7.3.4	Berginjektering	85
7.3.5	Kontroll av injekteringen	86
7.3.6	Sammanfattning	86
7.4	Reparationsåtgärder - Höger damm	86
7.4.1	Inledning	86
7.4.2	Sammanfattning	87
7.5	Diskussion – skador – skadeutveckling	87
7.5.1	Kommentarer	88

7.6	Resultat – läckage i dagsläget – incidenter	88
7.7	Generella erfarenheter av reparationsinjektering	88
8	Exempel på dränering med sanddräner (praktikfall Storfinnforsen)	91
8.1	Allmänt	91
8.2	Fyllningsdammens uppbyggnad	91
8.3	Drifterfarenheter	92
8.4	Kompletterande instrumentering och geotekniska undersökningar	92
8.5	Förstärkningar	94
	8.5.1 Eliminera risken för ett snabbt dammbrottsförlopp	94
	8.5.2 Åtgärder för att minska risken för initiering av inre erosion	95
8.6	Borrmetod, foderrör, silrör och filtersand	98
8.7	Portrycksänkning längs provsträckan	100
8.8	Erfarenhet från provsträckan	100
9	Referenser	101

1 Inledning

Byggnadsåtgärder har under senare decennier genomförts på många svenska fyllningsdammar för att öka dammsäkerheten. Syftet med denna rapport är dels att beskriva dammsäkerhetshöjande åtgärder som varit vanligt förekommande i Sverige, dels att sammanställa information rörande tillgängliga metoder för att uppgradera/reparera den tätande och dränerande funktionen i fyllningsdammar.

Rapporten bygger i stor utsträckning på författarnas egna erfarenheter från projekt för dammsäkerhetshöjande åtgärder. De åtgärder som genomförts har i allmänhet handlat om "yttre" förstärkningar av fyllningsdammens slänter och krön, samt höjning av tätkärnans krön. Mer omfattande "inre" tätande åtgärder har fram till idag inte varit vanliga i landet. I en del fall har uppgraderingen av tätningen dock bedömts vara nödvändig och för att ta vara på och sprida erfarenheter från sådana tillämpningar har ett antal praktikfall beskrivits i rapporten. Författarnas bedömning är att införande av nya tätskärmar kommer att användas i ökad uträkning i framtiden, speciellt i fall med onormalt läckage genom dammen.

Konsultgruppen som sammanställt föreliggande rapport består av Ingvar Ekström Sweco Energuide AB, Åke Nilsson WSP Sverige AB och Peter Wilén Norconsult AB. I dispositionen nedan anges huvudförfattarens initialer inom parentes för respektive kapitel.

Disposition

Rapporten har följande struktur:

- Kapitel 2. Beskrivning av vanligt förekommande åtgärder för uppgradering av dammsäkerheten. Här ingår åtgärder för förstärkning av uppströms erosionsskydd, dräneringar och stödbankar längs nedströms dammtå, höjning av tätkärnan och förstärkningar vid anslutningar mellan fyllningsdammar och betongkonstruktioner. (ÅN)
- Kapitel 3. Beskrivning av metoder för att åstadkomma en tätskärm i en befintlig fyllningdamm, samt beskrivning av olika typer av injektering som reparationsmetod. Avslutningsvis sammanställs för- och nackdelar med de olika metoderna. I de efterföljande avnitten illustreras de beskrivna metoderna med ett eller flera praktikfall. (ÅN, IE, PW)
- Kapitel 4. Exempel på olika typer av tätning som schaktas med grävmaskin (slurry wall, praktikfall Juktan och Lövön) eller med anpassade maskiner i paneler (diaphragm wall, praktikfall Hinze dam). (ÅN)
- Kapitel 5. Exempel på tätning med rörpålar (praktikfall Vojmsjön). (IE)
- Kapitel 6. Exempel på tätning med sekantpålar (praktikfall Spjutmo). (IE)
- Kapitel 7. Exempel på reparation genom injektering i fyllningsdamm och berggrundläggning (PW)
- Kapitel 8. Exempel på dränering med sanddräner (praktikfall Storfinnforsen) (ÅN)

2 Vanliga åtgärder för uppgradering av dammsäkerheten för fyllningsdammar

2.1 ORIENTERING

Dammägarnas dammsäkerhetsarbete med tillståndskontroll uppmärksammar fortlöpande behov av dammsäkerhetshöjande åtgärder. Åtgärdsbehovet kan vara orsakat dels av normala åldersförändringar av anläggningen, dels beroende på att samhällets krav på säkerhetsmarginaler successivt har ökat.

Åldring av anläggningarna har i många fall yttrat sig som bl.a. skador på uppströms erosionsskydd, vilket medfört behov av ökad tillsyn och i vissa fall även omfattande reparationer, eller fullständig ombyggnad av erosionsskydden. Ombyggnad av uppströms erosionsskydd har haft stor omfattning för att minimera eller undvika framtida underhåll samt för att förbättra dammsäkerheten, se kapitel 2.2.

Åtgärder har blivit aktuella med anledning av ökade krav för att kunna säkerställa anläggningen för högre dimensionerande flöde. Detta har för många dammar tydliggjort behovet av kompletterande utskov och/eller åtgärder för att möjliggöra en säker överdämningsförmåga. Dammsäkerheten har i första hand ökats genom att höja nivån för tät kärnan, för att kunna acceptera överdämning och förhindra överströmning vid extrema flöden, se kapitel 2.5.

Ökade krav har också införts för att dammarna ska kunna klara ett dimensionerande läckage. I RIDAS anges att för dammar i de högsta konsekvensklasserna ska "den stödjande och dränerande zonen säkerställa dammens bestånd och stabilitet vid varje tänkbart läckage genom grund, tät kärna eller filterzonen över tät kärnan. Speciellt viktigt är att dammtån säkras". Detta har medfört att ett stort antal dammar försetts med kompletterande dränage längs nedströms dammtå samt tåbankar och stödbankar ibland ända upp till dammkrönet för att öka dammens stabilitet under extrema lastfall och förbättra erosionsbeständigheten. Stödbankarna har i några fall dragits ända upp till dammkrönets nivå.

Inre erosion i dammkropp eller undergrund har enligt ICOLDs statistik orsakat dammhaveri lika ofta som extrema flöden. En indikation på inre erosion är läckage och sjunkgropar, vilket har inträffat i ett flertal svenska dammar. Erosionen av materialet i tät kärnan har kunnat inträffa eftersom nedströmsfiltret i många dammar främst byggda under 1970-talet inte uppfyller dagens krav på filter. Sjunkgroparna, som oftast uppstått i dammkrönets uppströmskant, orsakas av att filtret uppströms tät kärnan successivt kollapsat när det naturliga vattenflödet genom dammen transporterat in material från uppströmssidan in i tät kärnan. Inre instabilitet i tät kärna och filter har ofta bidragit till att materialtransport kunnat fortgå. Dammar som tål små läckage utan att skadlig erosion uppkommer och som skulle medföra stora konsekvenser vid ett haveri, har försetts med kompletterande dränage och tåbankar för att säkerställa dammens beständighet vid ett extremt läckage i ett skede närmare haveri, se kapitel 2.3 och 2.4.

Dräneringar och tåbankar minskar dock inte förutsättningarna för att inre erosion initieras på nytt och att erosionen fortsätter om nedströmsfiltret är alltför grovt och släpper igenom uttransporterat material från tät kärnan. Det kan härigenom finnas behov att förbättra tät kärnans tätande förmåga t.ex. genom injektering, eller att helt ersätta den befintliga tätningen genom t.ex. sekantpålar, rörpålar, "slurry walls", eller "diaphragm walls". Metodbeskrivningar och erfarenheter från reparation av tätningar har sammanställs från praktikfall och litteraturstudier, se kapitel 3-8.

Nedan ges en kortfattad beskrivning av vanliga åtgärder för uppgradering av dammsäkerheten och referenser ges till mer utförlig dokumentation.

2.2 EROSIONSSKYDD

2.2.1 Allmänt

Skador på erosionsskydd beror vanligtvis på att blocken som det är uppbyggt av varit alltför små och inte klarat vindens eller isens påverkan eller att nedbrytning skett av bergmaterialet. I RIDAS Tillämpningsvägledningar finns information om hur bedömning kan göras av erosionsskyddets förmåga att motstå vågor och isens påverkan i olika delar av Sverige. Dessa vägledningar, tillsammans med information om t.ex. reparationer som genomförts under årens lopp, kan ge dammägaren beslutsunderlag för att antingen öka omfattningen av tillståndskontrollen och genomföra lagningar för att bibehålla tillfredställande dammsäkerhet eller genomföra ombyggnad av erosionsskyddet.

2.2.2 Erosionsskydd av sprängsten

Exempel på skador på grund av vågor och ombyggnad av erosionsskydd där blocken placerats med god kontakt mellan blocken, men utan orientering av blocken (ordnat erosionsskydd), framgår av Figur 2.2 - 1. I en del fall har blocken orienterats med längdaxeln huvudsakligen vinkelrätt mot dammslanten, vilket ger en ytterligare förbättring, eftersom blocken behöver lyftas från sitt läge för att erosionsskyddet ska skadas av isens och vågornas påverkan, (ordnat orienterat erosionsskydd), se Figur 2.2 - 2 och Figur 2.2 - 3.

Under årens lopp har ett flertal rapporter tagits fram som beskriver uppgradering av erosionsskydd i svenska dammar, se t.ex. referens [2.2 - 1] och [2.2 - 2].



Figur 2.2 – 1 Exempel på skadat erosionsskydd (vänster) och nytt erosionsskydd ordnat med god kontakt mellan blocken, men utan orientering av blocken.



Figur 2.2 – 2 Exempel på ordnat erosionsskydd med god kontakt mellan blocken och även blocken orienterade med längdaxeln vinkelrätt mot slänten. Utläggningen görs med fördel med gripskopa för att kunna placera blocken individuellt så att de låser varandra på ett fullgott sätt.



Figur 2.2 - 3 Exempel på ordnat erosionsskydd där blocken orienterats i huvudsak med längdaxeln vinkelrätt mot släntens lutning, Akersvassdammen, Norge.

2.3 DRÄNERINGAR OCH MÄTÖVERFALL LÄNGS NEDSTRÖMS DAMMTÅ

2.3.1 Tillämpningsområde

Dränage längs nedströms dammtå utförs för att säkerställa att skadlig erosion inte uppstår i dammens nedströmstå vid ett eventuellt ökat läckage och ibland även för att säkerställa att grundvattenytan i stödfyllningen inte stiger och medför bristande stabilitet vid ökade porttryck i stödfyllningen. Arrangemangen med dräneringar för att vid normala förhållanden förhindra att källsprång utbildas har oftast kombinerats med tåstöd eller stödbankar ända upp till dammkrön för att säkerställa dammens beständighet vid ett extremt läckage i ett skede närmare haveri, se kapitel 2.4.

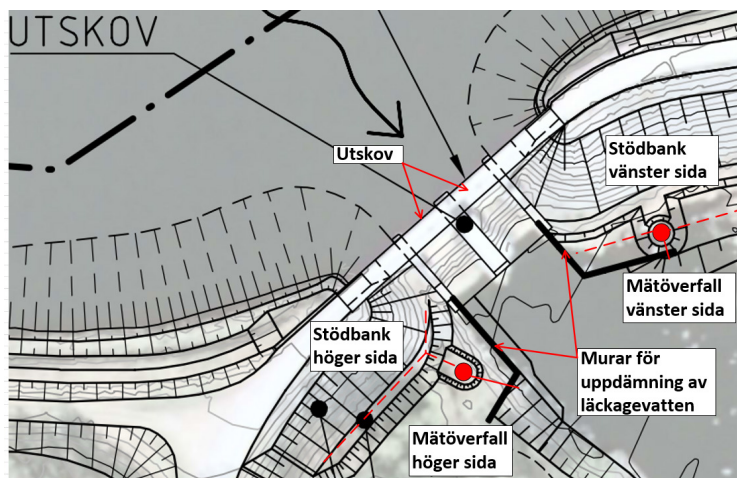
Projekt för att höja nivån på dammsäkerheten har oftast innehållit åtgärder för att möjliggöra läckagemätning. Dränaget längs dammtån avleder läckagevatten till ett mätöverfall, som för högkonsekvensdammar normalt automatiseras för att möjliggöra kontinuerlig mätning och övervakning av flödet. För att få en mätning av läckaget har grundvattenytan vid dammtån höjts till nivån för mätanordningen genom en invallning längs dammtån för att härigenom få en avskiljning från inläckning till dränaget från nedströmssidan. Läckage från dammen tillsammans med nederbörd på nedströmsslänten avbördas från det uppdämda området genom mätöverfallet. Utloppet från mätöverfallet behöver, om praktiskt möjligt, väljas så högt att det inte påverkas av nedströmsvattenytan. I en del fall där utloppet påverkas t.ex. vid spill genom utskovet har accepterats att läckagemätningen inte kan hållas i funktion i samband med spill.

2.3.2 Dimensionering och utformning

För att samla ihop läckageflödet till mätöverfallet och minska områdespåverkan på mätresultat behöver dräneringen, som ovan nämnts, avskiljas från nedströmsvattenytan. Om även vatten från nedströmshållet t.ex. vid regn förs till dränaget skulle detta felaktigt kunna tolkas som läckage genom dammen. Ett kontinuerligt bakgrundsflöde medför vidare att chansen för att flödestoppar ska noteras minskar då dessa dämpas ut. Nederbördsområdet uppströms dräneringen, t.ex. dammens nedströmsslänt, hålls så litet som möjligt. Läckagemätning kompletteras ofta med mätning av nederbörd och temperatur för att få en indikation på om ett ökat flöde i mätöverfallet är orsakat av regn eller snösmältning.

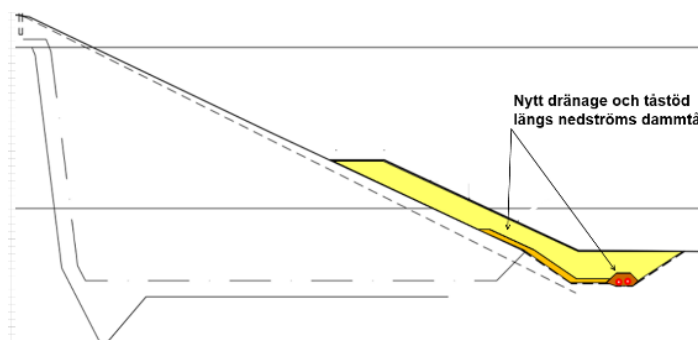
Byggåtgärderna kan i en del fall bli relativt omfattande. Vid anslutningar mellan fyllningsdammar och betongkonstruktioner, som ofta är svaga punkter, kan murar behövas. Detta dels för att kunna höja grundvattenytan, men dels även för att ge stöd för stödbankar, eftersom utrymmet oftast är begränsat och befintliga ledmurar sällan tål en ökad ensidig jordlast utan kompletterande förstärkningsåtgärder. Ett exempel framgår av Figur 2.3 – 1 där stödmurar som grundlagts på berg tätats med injektering, samt försetts med dränage och stödbankar som vid anslutningen utformats med flackare släntlutning än de ursprungliga slänterna.

Vid mindre dammar och då behov inte finns att bredda dammkrönet kan åtgärder vidtas med dränering längs dammtån och en mindre tåbank, se exempel i Figur 2.3 – 2.



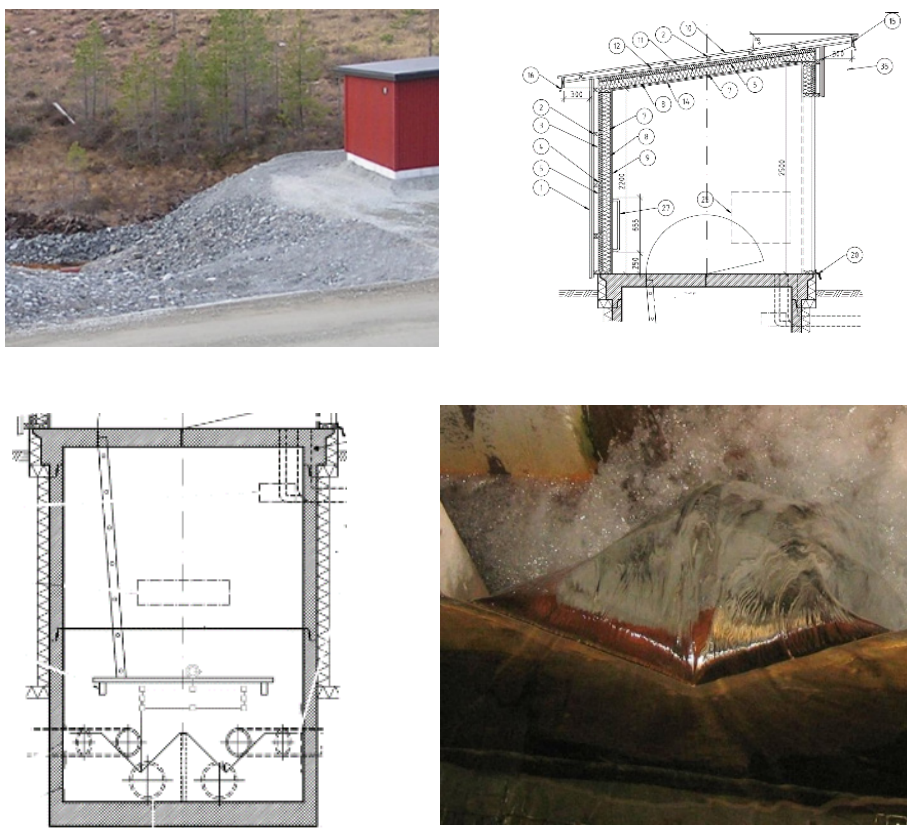
Figur 2.3 – 1 Exempel på arrangemang för dränering, mätöverfall och stödbankar intill utskov.

Vid utförande av komplettering med dräneringsledningar i befintliga dammar har det i vissa fall varit svårt att erhålla en god funktion. För en del dammar är det djupt ned till dräneringsnivån vilket försvårar utförandet (djupa schakt nedanför en dammslänt, och risk att dräneringen placeras för ytligt). Resultatet har i vissa fall blivit torra dräneringsledningar och därmed en dålig funktion i mätsystemet.



Figur 2.3 – 2 Exempel på arrangemang för dränering längs dammtån.

Mätöverfall uppförs för att mäta flödet från dräneringen. Vid dammar med hög konsekvensklass anordnas vanligtvis automatisk och kontinuerlig mätning, som i flertalet fall medfört behov av mätöverbyggnad och uppvärmning för att skydda utrustningen, se Figur 2.3 – 3.



Figur 2.3 – 3 Exempel på mätöverfall med överbyggnad (överst) och mätbrunn med överfall (nederst).

2.4 TÅBANKAR LÄNGS NEDSTRÖMS DAMMTÅ OCH STÖDBANKAR IBLAND ÄNDA UPP TILL DAMMKRÖN

2.4.1 Tillämpningsområde

Inre erosion i tätkärnan, dammtån och/eller i undergrunden har inträffat i många fyllningsdammar i Sverige. Förloppet har noterats t.ex genom att sjunkgropar har utbildats. Dessa uppkommer oftast i dammkrönets uppströmskant, i läget för dammens uppströmsfilter. Åtgärder för att direkt stoppa skadans initiering genom att införa ny tätning eller förbättra nedströmsfiltrets egenskaper är komplicerat och därigenom kostsamt att utföra.

För stora dammar har det i Sverige varit både för tekniskt komplicerat och för kostsamt att åstadkomma en ny tätande funktion. Injektioner har ofta gjorts, men dessa har i flera fall orsakat skador och läckagen återkommit efter några år. Förutsättningarna för att bygga en ny tätning har ökat under senaste årtiondena genom erfarenheter från utländska genomförda project där olika typer av stora entreprenadmaskiner används. Denna utveckling innebär att det numera finns metoder som kan vara tillämpbara. Dessa metoder beskrivs i kapitel 3

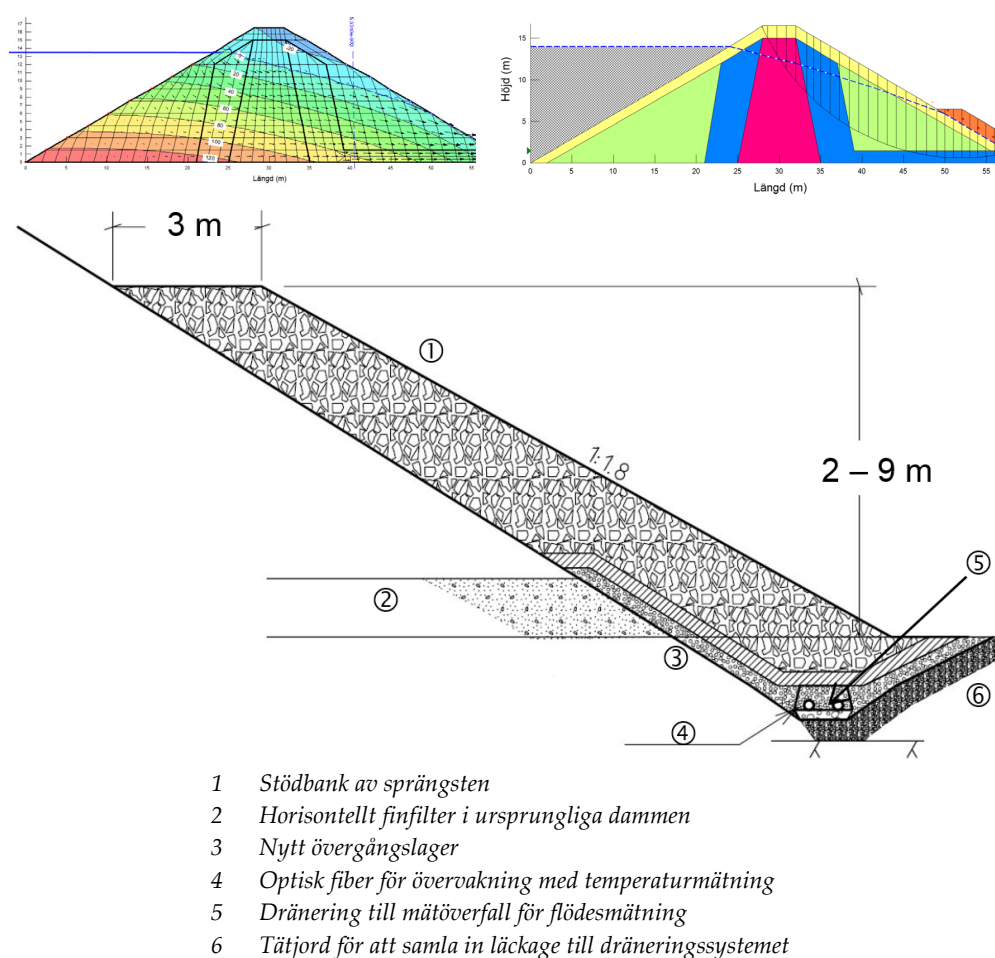
I flertalet fall har de åtgärder som har genomförts i Sverige i första hand varit förstärkningar av nedströms dammtå med dräneringar och stödbankar. Dessa åtgärder utförs för att öka materialets motståndskraft vid stora läckage och förhindrar härigenom ett snabbt skadeförlopp i ett sent skede närmare brottskedet.

Förstärkningarna påverkar dock inte själva initieringsprocessen eller minskar sannolikheten för att inre erosion ska uppkomma i dammen. Om inre erosion initierats i dammen, vilket kan visa sig t.ex. genom sjunkgropar på uppströmssidan av dammkrönet, kan förloppet antingen fortsätta eller stanna upp av sig själv. Genom förstärkningar av nedströms dammtå med dräneringar och stödbankar påverkar tiden för att utveckla själva brottförloppet.

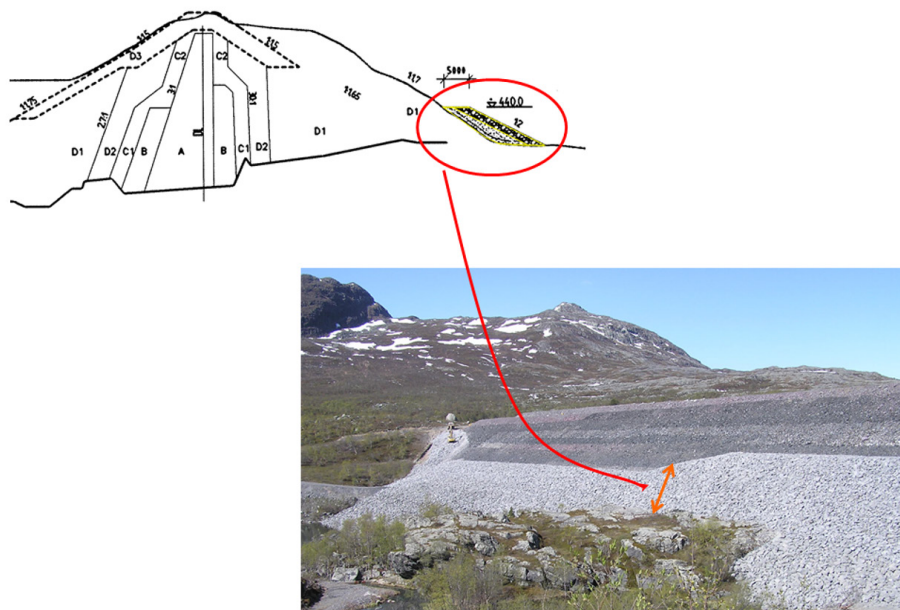
Utvecklingsskedet efter initieringen av bakåtgripande erosion är beroende av filterets kornfördelning och tätkärnans innehåll av sandfraktion, jämför referens [2.4 -1]. Vid mindre avvikelser kan förväntas att erosionen avstannar med begränsad erosion. I fall där nedströmsfiltret är grövre kan antas att förloppet blir mer utvecklat eller fortlöpande. Stödbankar, som beskrivs nedan, kan i dessa fall antas förhindra ett snabbt brottförlopp.

2.4.2 Dimensionering och utformning

Tåbankar har oftast dimensionerats enligt "RIDAS Tillämpningsvägledning, kapitel 7". Det finns många praktikfall där tåbankar och stödfyllningar byggts, se Figur 2.4 – 1 och 2.4 – 2 som visar några typiska utformningar.



Figur 2.4 – 1 Exempel på dimensionering med flödesberäkning överst t.v., och typisk utformning stabilitet överst t.h., Utdrag från referens [2.4 – 2].



Figur 2.4 – 2 Exempel på utformning av tåbank för Suorva västra damm. Utdrag från referens [2.4 – 3].

2.5 HÖJNING AV TÄTKÄRNAN

2.5.1 Allmänt

Behovet att säkerställa anläggningarna för nya dimensionerande flöden har för flera anläggningar medfört uppgradering av avbördningskapaciteten, antingen genom att öka lucköppningarnas dimensioner inom befintliga utskov, eller genom att bygga nya utskov. Då dessa åtgärder ofta medför stora kostnader och komplicerade entreprenader har dock i många fall möjligheten undersökts att vid extrema flöden tillåta tillfällig överdämning över dämningssgränsen som anges i vattendomen. Vid överdämning ökar avbördningskapaciteten genom att genomströmningsarean för utskoven ökar. Vidare erhålls även en passiv dämpning av flödet, vilket minskar behovet av ökad avbördningskapacitet för nedströms liggande anläggningar. Praxis har utvecklats att vid dimensionerande flödet (med viss marginal) tillåta överdämning till tätkärnans överkant. Vid optimering av möjliga åtgärder har höjning av tätkärnans krön i många fall visat sig vara den enklaste åtgärden för att säkra anläggningen för flöde.

2.5.2 Metoder

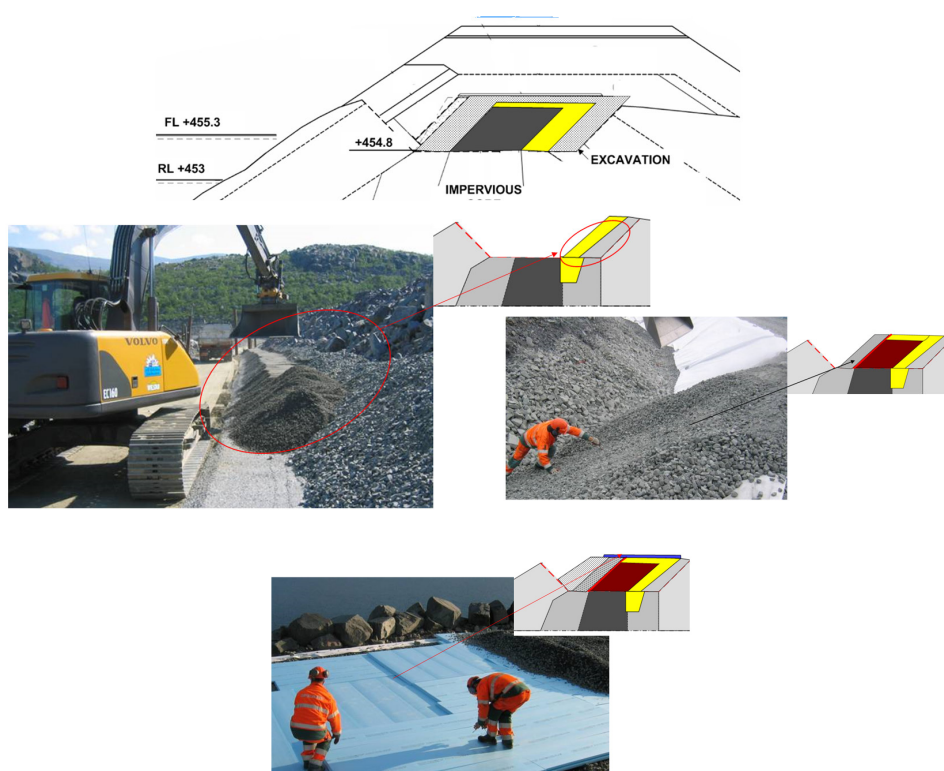
Höjning av tätkärnan har oftast gjorts genom avschaktning av dammkrönet ner till den befintliga tätkärnan, höjning av tätningen med morän och återuppbyggnad av dammkrönet på motsvarande sätt som för ursprungliga dammen. Nivån för det ursprungliga dammkrönet har om möjligt bibehållits för att undvika höjningar av anslutande betongkonstruktioner och kostsamma åtgärder för breddning av dammen, men även av juridiska skäl då detta ofta skulle medföra att tillståndet kan behöva omprövas. Isolering av tätkärnan mot tjäle har ofta behövts längs dammkrönet, och speciellt vid anslutande betongkonstruktioner, eftersom överbyggnadens tjocklek minskat vid höjningen av tätkärnan.

Höjning av tätningen i dammar har på senare år, utförts med andra metoder t.ex. med PVC-spont eller vinkelstödmur i betong. En litteraturinventering av olika metoder framgår av referens [2.5 - 1]. Höjning av tätkärnan med morän som isolerats med

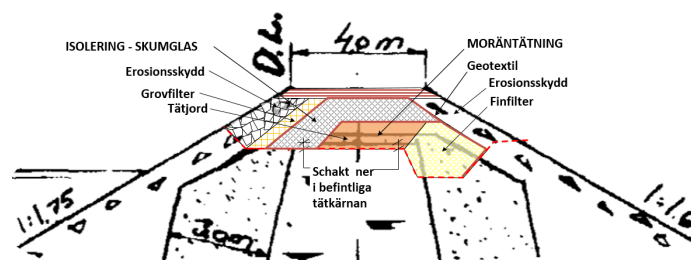
skivor av expanderande polystyren på den horisontella överytan och med skumglas på lutande uppströmssidan framgår av Figur 2.5 – 1.

För att undvika styva skivor på krönets överyta, som kan förhindra upptäckt av sjunkgropar och lokala sättningar, har i några fall skumglas använts som isolering, se Figur 2.5 - 2. Vägledning för dimensionering av isolering med skumglas framgår av referens [2.5 - 3].

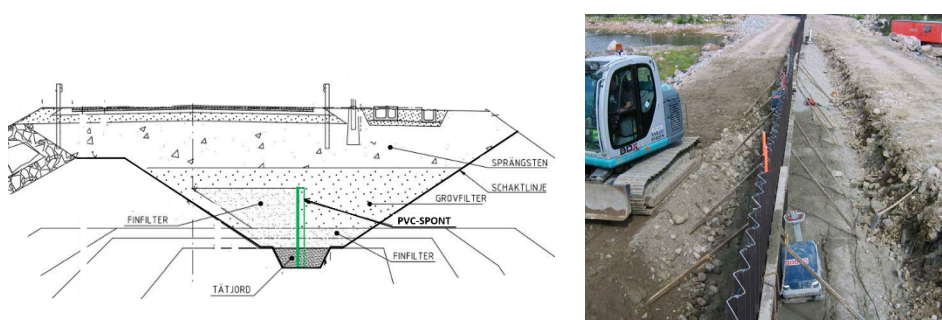
I några fall har tätningen utförts med geomembran som omgetts av geotextiler, se Figur 2.5 – 4 och referens [2.5 – 4].



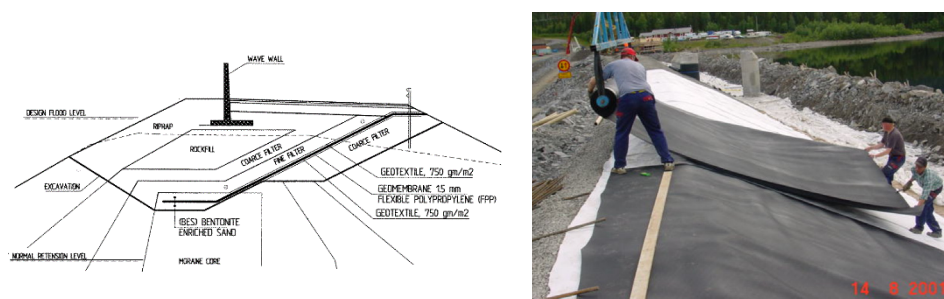
Figur 2.5 – 1 Exempel på utformning av höjd tåtkärna för Suorva västra damm. Isolering med skivor av expanderande polystyren på tåtkärnans horisontella överyta och med skumglas på den lutande uppströmssidan. Utdrag från referens [2.5 – 2].



Figur 2.5 – 2 Höjning av tåtkärna med morän som isoleras med skumglas.



Figur 2.5 – 3 Höjning av tåtkärna med PVC-spont (vänster). Utförande av höjning med PVC-spont som temporärt stöttats under byggnadstiden i samband med arbetet (höger).



Figur 2.5 – 4 Höjning av tåtkärna med geomembran (vänster) och pågående utläggning vid höjning av tåtkärnan på dammen i Ajaure (höger), referens [2.5 - 4].

2.6 ANSLUTNING AV Fyllningsdammar TILL BETONGKONSTRUKTIONER

2.6.1 Allmänt

Erfarenheter från befintliga dammar har visat att skador i form av sjunkgropar och läckage ofta har inträffat i området för anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion t.ex. utskovspelare. En anledning till skadorna är att det på 1970-talet var vanligt att införa stålsponter som stack in 5 å 10 m in i tåtkärnan. Avsikten var att förlänga läckvägen längs betongkonstruktionens sida. Denna konstruktionslösning medförde dock svårigheter att packa tåtkärnan i erforderlig omfattning, vilket tillsammans med det begränsade utrymmet med branta släntkoner, ofta har medfört att övergången blivit en svag punkt i dammar byggda på denna tid, se vidare referens [2.6 - 1].

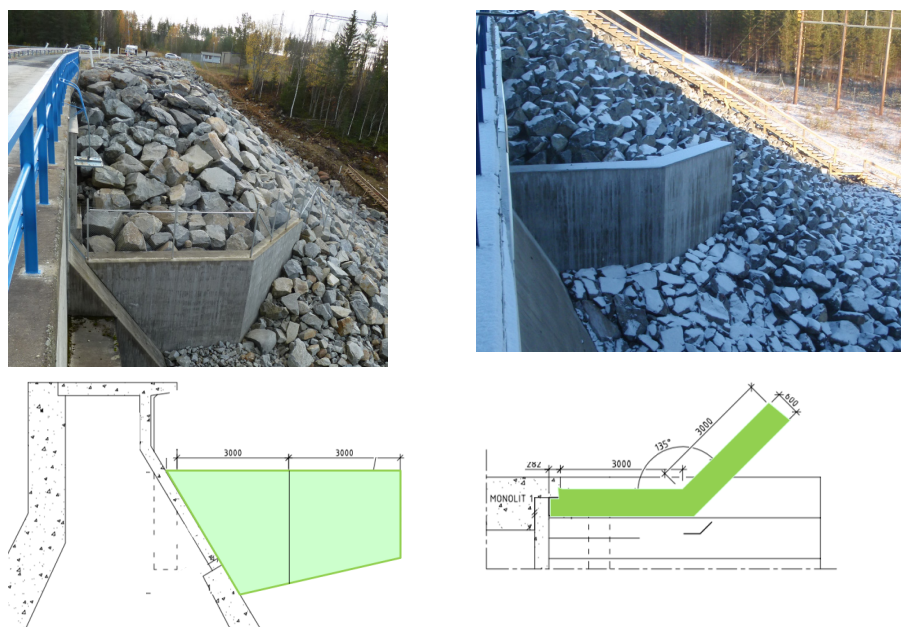
På fyllningsdammen utfördes ibland även dammkrönet till en lägre nivå än i övrigt vid anslutning till betongkonstruktionen. Detta medförde ytterligare svagheter på grund av mindre överbyggnad och ökad känslighet t.ex. för tjälnedträngning till tät kärnan och minskade marginaler för uppspolande vågor och överströmning.

I andra länder har man, istället för sponter, normalt använt en svagt lutande utformning av den anslutande betongmonoliten i både vertikal och horisontell riktning, för att möjliggöra en fullgod packning av tät kärnan ända in mot betongkonstruktionen. I vertikalled lutas monoliten i storleksordningen 8V:1H och i horisontalled görs motsvarande förtjockning av pelaren åt nedströmshållet. Avsikten är att ge ett tryck mot betongkonstruktionen vid deformationer i fyllningen, så att inga vattenförande glipor uppkommer. Vid denna typ av utformning breddas även tätningen ofta och dammen förses med bredare filter vid övergången till betongkonstruktioner.

2.6.2 Exempel på åtgärder

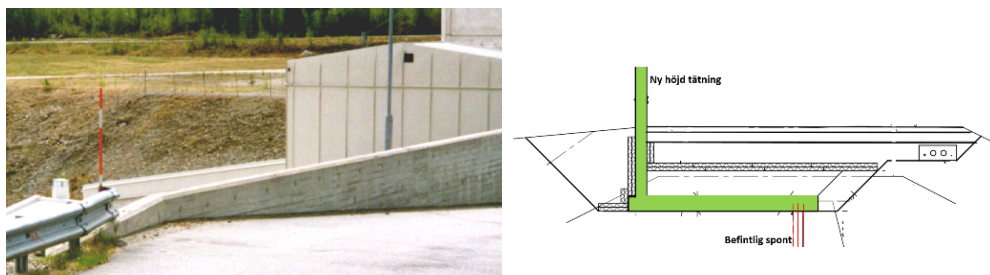
Vid anslutning till betongkonstruktioner har åtgärder i många fall genomförts i form av breddning av krönet med stödbank, för att förbättra dammens förmåga att motstå ökat läckage. Vidare har förstärkningen i några fall behövts för att förbättra stabiliteten, som varit otillräcklig eftersom tät kärnan i övergången noterats vara mycket lös i kombination med att dammen haft brantare slänter än för dammen i övrigt. Den nedsatta hållfastheten i tät kärnan kan i många fall härledas till vattendränkningssättningar i områden med bristfällig packning, vanligtvis invid sponten mot betongkonstruktionerna.

För att kunna göra krönet bredare vid övergången till betongkonstruktionen har kompletterande vingmurar ibland behövt byggas, eftersom utrymmet mot befintliga anslutningskoner varit begränsat vid anslutningen, se Figur 2.6 – 1.



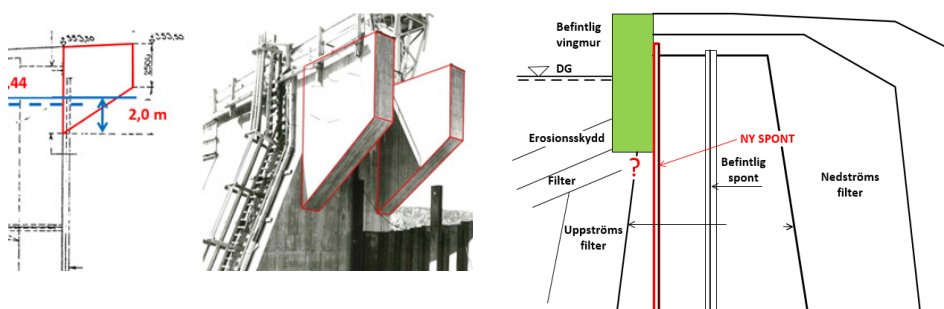
Figur 2.6 – 1 Exempel på reparationer vid anslutning till betongkonstruktioner. Vingmurar utförda för att kunna utföra breddning av stödbanken vid krönnivån.

Då dammar byggda på 1970-talet ofta hade lägre dammkrön vid anslutning till kraftstation och utskov har höjningar även gjorts med betongkonstruktioner i dessa partier. Detta för att vid anlutningarna erhålla tätning och våguppspolningsskydd upp till motsvarande nivå som tätkärnans krön för övriga delar av dammen, se Figur 2.6 - 2.



Figur 2.6 - 2 Exempel på stödmur för höjning av tätning till motsvarande nivå som tätkärnan för övriga dammen vid anslutning till betongkonstruktion.

Förutom stålspont i anslutningen byggdes på 1970-talet ofta vingmurar som likaså stack in i fyllningsdammen. Detta för att kunna göra branta släntkoner vid anslutningen på motsvarande sätt som normalt görs för vägbankar som ansluter till brobyggnader. Vingmurarna gick ibland ner under dämmningsgränsen vilket dock kunde medföra att otillräckligt utrymme fanns för filter och övergångslager mot uppströms erosionsskydd. Packning kunde vid det ursprungliga byggandet knappast utföras av materialet under vingmuren och sättningar har i flera fall noterats under vingmuren med materialtransport från tätkärnan. I något fall har förstärkning gjorts med en stålspont för att förhindra transport av material från tätkärnan mot uppströms-sidan genom erosionsskyddet, se Figur 2.6 – 3. Åtgärden kan tänkas behöva kompletteras med ytterligare förstärkningar av filterlager och erosionsskydd på uppströms-sidan.



Figur 2.6 – 3 Till vänster visas en utskovspelare som vid ursprungliga byggandet försetts med två vingmurar i kombination med sponter. Till höger visas en damm som har en vingmur som vid ursprungliga byggandet kombinerats med en central spont i tätkärnan. Exempel på reparationer med ny spont vid anslutning till betongkonstruktion visas i sektionen till höger.

Fyllningsdammens koner vid anslutningarna till betongkonstruktioner byggdes på 1970-talet brantare än uppströmsslänten för övriga dammen. Vid anslutning till utskov har slänten ibland blivit utsatt för erosion pga. inströmningen vid avbördning, vilket har medfört skador och behov av reparationer.

På grund av det begränsade utrymmet har på några anläggningar valts att utföra släntförstärkning med t.ex betongmadrasser, se Figur 2.6 – 4.



Figur 2.6 – 4 Exempel på skador på uppströms erosionsskydd vid utskov (vänster) och möjlig reparation med betongmadrass (höger).

3 Nya tätskärmar för att uppgradera den tätande funktionen

3.1 ORIENTERING

I framtiden bedöms att införandet av olika former av nya tätskärmar kommer att användas i ökad utsträckning för befintliga fyllningsdammar, speciellt för dammar där läckagen är återkommande. I detta kapitel sammanfattas de vanligaste metoder som finns att tillgå. I de efterkommande kapitlen har mer utförliga metodbeskrivningar och erfarenheter från svenska praktikfall sammanställts, där olika typer av nya tätskärmar har byggts för att minska läckaget och stoppa upp pågående inre erosion.

Utomlands är dessa reparationsåtgärder betydligt vanligare och många skadade dammar har försetts med ny tätning. Utvecklingen av olika metoder leds av större entreprenörer som specialiserat sig och anpassat sin maskinpark till avancerade grundläggningar, som ofta innehåller tätskärmar till stora djup. Uppgraderingar av fyllningsdammars tätande del är ett annat tillämpningsområde. Fem större entreprenörer i Europa, som även utför uppgradering av tätskärmar i dammar utanför Europa, är Bauer (Tyskland), Soletanche Bachy (Frankrike), Züblin (Tyskland) och Trevi Group (Italien), samt Skanska Cementation (UK).

Det finns en mängd olika metoder, som tillämpats internationellt, för att införa ny tätning i befintliga dammar. Utförlig beskrivning av metoderna finns i t.ex. ICOLD Bulletin 150, referens [3.1 - 1], en nyligen utkommen handbok, se referens [3.1 - 2] samt en publikation från Bureau of Reclamation [3.1 - 3].

3.2 TÄTSKÄRM SOM SCHAKTAS SOM KONTINUERLIG SLITS MED GRÄVMASKIN (SLURRY WALL)

Utomlands används slitsmurar som ett kostnadseffektivt sätt för att tätare lägre dammar. I referens [3.1 - 1] delas denna metod in i tre olika förfaranden;

- Jord-Bentonit slitsmur ("Soil-Bentonite, SB slurry wall")

I SB-metoden fylls den schaktade slitsen, som oftast stabiliseras med en slurry av bentonit av vatten, med en jord och bentonitblandning.

- Jord-Cement-Bentonit slitsmur (Soil-Cement-Bentonite, SCB slurry wall)

I SCB metoden fylls slitsen, som oftast stabiliseras med en slurry av bentonit av vatten, med en jord-cement-bentonitblandning. Metoden har blivit mer vanligt förekommande under senare år.

- Cement-Bentonit slitsmur (Cement-Bentonite, CB slurry wall)

Till skillnad från de övriga två metoderna utförs inte fyllningsmomentet eftersom cement tillsätts redan i slurryn som ska hålla slitsen öppen. Härigenom hårdar slurryn och bildar en tätskärm i slitsen/panelerna.

Tätheten hos en slurry wall skiljer sig något beroende på fyllnadsmetod. Generellt gäller att den hydrauliska konduktiviteten och tryckhållfastheten ökar med ökat cementinnehåll.

Schakt för slitsmur utförs antingen som en kontinuerlig slits eller som paneler som överlappar varandra och skapar en sammanhängande tätskärm. Slitsen/panelerna är fyllda med bentonit-slurry under schakten, då slurryns hydrostatiska tryck hindrar slitsens väggar från att kollapsa. Schakten utförs vanligtvis med en hydraulisk grävare, men schaktdjupet begränsas till ca 10 m med en grävare. I en slitsmur som utförs med hydraulisk grävare finns inga fogar eftersom schakt och återfyllnad utförs i en kontinuerlig process, se Figur 3.2 – 1.



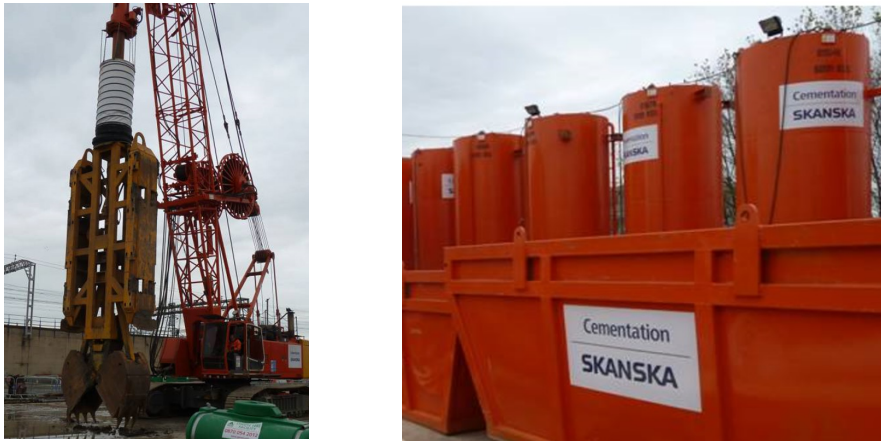
Figur 3.2 – 1 Kontinuerlig schakt av en Jord-Bentonit slitsmur ("Soil-Bentonite, SB slurry wall"), A.V. Watkins Dam, Utah.

Tekniken är relativt enkel och effektiv, vilket beskrivs i två exempel som genomförts i Sverige med metoden Cement-Bentonit (CB). Metoden har i dessa svenska fall använts till ett maximalt djup av 10 m, se kapitel 4.2 och 4.3 nedan.

3.3 TÄTNING SOM SCHAKTAS MED ANPASSAD UTRUSTNING I PANELER (DIAPHRAGM WALL)

Konstruktion av 'diaphragm walls' görs genom att en slits schaktas utan hjälp av något stöd förutom av en slurry av bentonit/vatten. Schakten görs i bitar som kallas paneler och efter att en panel schaktas färdigt ersätts den stabiliserande slurryn genom undervattensgjutning med mer bärande material, vanligen en betong med tillsats av bentonit, för att erhålla en plastisk betong.

Schaktningen kan göras med gripskopa (Clamshell), se Figur 3.3 – 1.



Figur 3.3 – 1 Gripskopa (Clamshell) för schakt av paneler till normalt maximalt 30 m djup (vänster). En mängd tankar behövs för att kunna hålla tillräckligt med slurry för pågående produktionen av paneler (höger). Costaine/Skanska utför konstruktion av diaphragm walls i "Pudding Mill Lane" och "Royal Oak Portal, London", November 2010.

Schaktning kan även göras med 'Hydromill', som utvecklades i slutet av 1970-talet av Bauer, Casagrande, Rodio, Soletance och Soil Mech. Utrustningen består av en styv ram som rymmer två cirkulära skärande trummor och en sugande pump som för upp massorna tillsammans med en blandning av bentonit och vatten som hela tiden håller schakten fylld, se Figur 3.3 – 2. Uppumpat material renas från fast material och blandningen av bentonit och vatten återcirkuleras till schakten.



Figur 3.3 – 2 Hydromill lämplig för mycket djupa slitsar, som också kan schaktas in i berget.

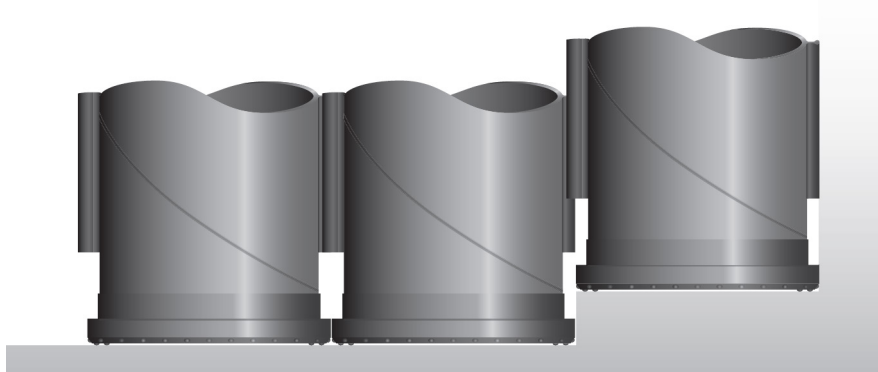
Metoden har i Sverige använts genom att panelerna med den stabiliserande slurryn efter schaktningen ersätts med armeringskorgar och konstruktionsbetong, för att härigenom få en bärande slitsmur som används som permanent stödkonstruktion.

Utomlands har metoden i stor utsträckning även använts för att erhålla en tätskärm i befintliga dammar. I Sverige har dock metoden inte använts för detta ändamål. I kapitel 4.4 har därför beskrivits en reparation av tatkärnan i Hinze Dam, som har en väldokumenterad beskrivning av arbetet.

3.4 TÄTSKÄRM MED RÖRPÅLAR

3.4.1 Allmänt

Rörpålar benämns ofta RD-pålvägg. Konceptet baseras på spiral- eller längdsvetsade stålrörspålar, vilka är försedda med låsprofiler, som vanligtvis svetsats fast på rören redan i fabriken, se Figur 3.4 – 1. Det går även att svetsa på låsen på rören direkt på byggsplatsen, men detta tenderar att vara tids- och kostnadsdrivande. Ett problem med platsmontering av låsen är att rören kan slå sig under svetsning och att kvaliteten på svetsfogen kan göras högre med bättre precision i fabrik. Detta gör att montering på byggarbetsplats normalt undviks. En tätväggs utformning behöver därmed av ekonomiska och praktiska skäl vanligtvis vara fastställd redan i planeringsstadiet.



Figur 3.4 - 1 Princip för installation av rörpålar med montering i lås under nerborring med en ringkrona i rörets botten.

3.4.2 Användningsområde

Rörpålar lämpar sig för både temporära och permanenta konstruktioner, som kräver hög vertikal och horisontell bärrighet. Som temporär stödväggskonstruktion är rörpålar ekonomiskt och tekniskt gångbara vid krävande markförhållanden, där det är svårt eller omöjligt att bygga konventionella stödväggar. Rörpålar är lämpliga för konstruktioner som kräver en hög böjstyvhet och hållfasthet.

Om pålen borrar ned i berggrunden erhålls en mycket hög vertikal bärrighet. Således kan konstruktionen fungera som en horisontellt belastad vägg utsatt för jordtryck och som en grundkonstruktion som kan bära höga vertikala laster, på samma gång. Horisontal last kräver inte nödvändigtvis inborring i berg, utan vanligast är att horisontallast hanteras genom bakåtförankring.

En rörpålevägg kan bestå av pålar med varierande längd och det är inte nödvändigt att förankra samtliga pålar, se Figur 3.4 – 2. Det är möjligt att enbart borra ner vissa av rörpålarna i en vägg i berggrunden. Detta görs för att säkerställa horisontellt stöd för den nedre delen av en väggkonstruktion, som grundpålar för att överföra laster från pelarna. Rörpåleväggen kan också byggas som en kombivägg, vars spontprofiler installeras mellan RD-pålarna genom slagning eller vibrering, efter det att rörpålarna installerats.



Figur 3.4 - 2 Rörpålevägg som permanent stödkonstruktion för vägg. Till höger rörpålar under montering.

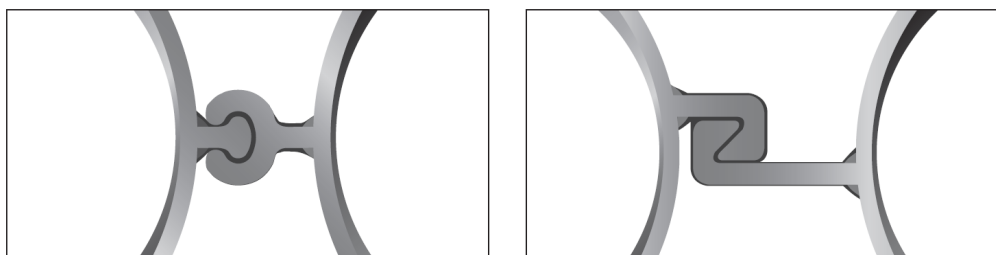
Om stödet för nederdelen av stödväggen, djupet på schaktningen mot sponten eller krav på vattentäthet, kräver att stödväggen fästs mot berg eller flera meter ned i morän som innehåller stenar och block, kan en temporär eller permanent rörpålevägg borrar till önskad nivå ner i berggrunden. Att avsluta rörspont i berg kräver generellt sett kompletterande åtgärder genom tätning. Om borming utförs in i berg så skapas en kanal längs rörpålens mantelyta som fungerar som läckväg, vilken behöver injekteras igen.

3.4.3 Rörväggens hållfasthet

Vanligtvis består rörpålar av stålsorterna S440J2H och S550J2H. I pålväggar med RD400-pålar eller större kan även stålsorterna S355J2H, X60 och X70 användas och andra tillval finns beroende på leverantör. Det finns även leverantörer som enbart tillhandahåller lås, som kan svetsas på valfri typ av stålpile. Valet av stålsort har en tydlig effekt på pålväggens strukturella hållfasthet. Om en starkare stålsort som S550J2H väljs, kan ofta pålar med mindre diameter eller vägg tjocklek användas. Val av stålsort görs ur ett tekniskt-ekonomiskt perspektiv, beroende på förutsättningarna i respektive projekt.

3.4.4 Låsprofiler och täthet

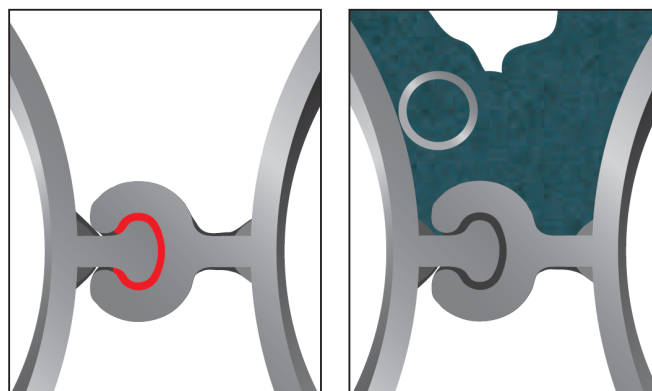
Rörpålar ansluts till varandra med låsprofiler. Angränsande pålar låses ihop med hjälp av ett par låsprofilsektioner, en smal och en bred. Det finns flera olika typer av låsprofiler, t.ex. WOM/ WOF och E21 från Pilepro (se Figur 3.4 – 3) och RM/RF från Ruukki. Alla typerna kan användas i väggar som byggs med högkapacitetspålar (> RD400). WOM/WOF låsprofiler används med mikropålar (RD170-RD320).



Figur 3.4 - 3 WOM/WOF-låsprofil och till höger E21-låsprofil.

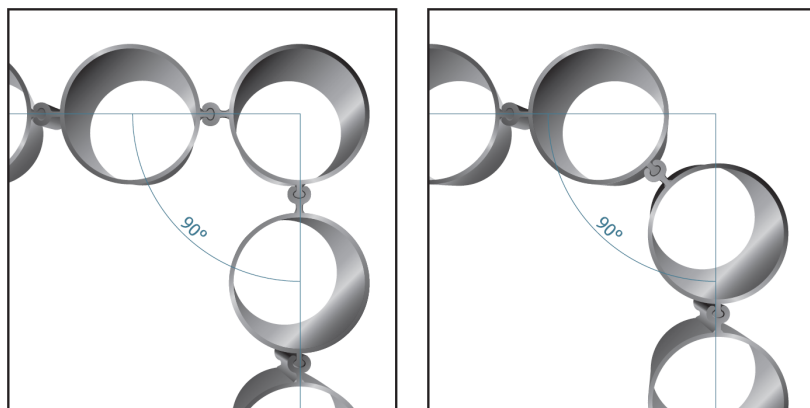
En vägg av rörpålar är oftast tillräckligt vattentät även för dämmande konstruktioner, om den är inbäddad i tätjord. Pålväggens täthet påverkas starkt av jordens egenskaper. Generellt kan sägas att vid låg vattengenomsläpplighet i marken (finkorniga jordar) och måttligt vattentryck över väggen (<50 till 80 kPa), är den mängd vatten som tränger in i låsprofilerna försumbar. Med ökande vattentryck och mer vattengenomsläppliga jordar så ökar sannolikheten för läckage genom låsprofilerna. Genom installationsmetoden uppkommer inga signifikanta påfrestningar på låsprofilsektionerna under installationen och det bildas vanligtvis inga läckagepunkter i dem på grund av deformation.

Vid behov kan rörpåleväggens vattentäthet förbättras genom att applicera ett hett bitumenbaserat tätningsmedel på den bredare låsprofilsektionen, eller att en tätningsmassa som expanderar vid kontakt med vatten används, se Figur 3.4 - 4. Vattentätheten kan också förbättras genom injektering av området vid låsprofilen bakom väggen.



Figur 3.4 - 4 Förbättring av låsens vattentäthet genom bitumenbaserat svällande tätningsmedel (vänster) och injektering genom påsvetsade rör från nipplar på olika nivåer (höger).

Nödvändiga vinkelförändringar i RD-pålens vägglinje genomförs genom att svetsa låsprofilsektionerna i önskad vinkel, se Figur 3.4 - 5. Detta kräver en noggrann projektering, då det är omständligt att ändra läget för spontlåsen på plats.



Figur 3.4 - 5 Vinkelförändringar av rörpålevägg, placering av lås.

3.4.5 Borrmétod och överborrning

Rörpålar installeras med en centrisk borrhingsmetod. Kronan kan vara antingen av typen "ring set" (pilot+ ring) eller "excenter". Dessa har en större diameter än en standardborrkrona. Ringborrkronan eller excentern borrar ett hål som är större än pålen så att pålens låsprofiler får plats på utsidan av pålarna. Ringborrkronan och borrar skon blir kvar som en del av pålens lastbärande struktur, vilket innebär att de måste hålla för de påfrestningar de utsätts för.



Figur 3.4 - 6 Montering av ringborrkrona och förbättring av låsens vattentätthet genom injektering.

Storleken på det tomma utrymmet utanpå pålen styrs av hur mycket överborrning som görs för att rymma låsen, dvs. av ringborrkronan eller excenterns storlek, vilken väljs efter den aktuella pålens storlek och typ av låsprofil.

Om tryckluftsspolning används vid borrhningen kan det tomma utrymmet som orsakas av den överdimensionerade ringborrkronan fyllas helt eller delvis av borkax. Normalt medför borrhning med luft att en större mängd material transporteras via röret upp till markytan än om vattendriven sänkhämmare, eller möjligen toppdriven lufthämmare, används. Sättningsarnas storlek kring röret beror huvudsakligen på val av bormetod (luft/vatten), samt erfarenheten hos utföraren och i mindre omfattning även på jordens beskaffenhet.

Märkbara sättningar kan förekomma i närheten av vägglinjen. Sättningarna storlek beror på jordens egenskaper, men förenklas ofta till att antas uppkomma inom en halv pållängds avstånd från vägglinjen. I kompakt friktionsjord förekommer vanligtvis endast små jordförskjutningar nära rörpålen. I lös friktions- och fyllningsjord och i lösa kohesiva jordar kan överbörningen orsaka något större sättningar i omedelbar närhet av väggen, speciellt om komprimerad luft kommer ut utanför pålen och stör jordlagren.

Den huvudsakliga orsaken till områdespåverkan är valt spolmedel, där luft bör undvikas invid känsliga konstruktioner. För att minimera sättningar används i känsliga områden borrar som släpper ut så lite tryckluft som möjligt i jorden runt pålen. Borring med luft innebär större risk för sättningar än med vatten. Vid installation av mikropålvägg (RD170-RD270) kan en vattendriven hammare användas, vilket gör att det tomma utrymmet fylls med borrhax, vilket kan bidra till att minska jordförskjutningen. Maximal storlek för vattendriven 8" hammare är än så länge RD320.

3.4.6 Grundläggning i berg

Pålar som går ned i berggrund bör borraras in minst 500 mm, oberoende av väggens funktion. Pålar som överför vertikala laster och pålar vars nederdel utsätts för betydande momentana laster och/eller skjuvkrafter bör borraras in i berget till ett djup av 3 gånger pålens diameter, dock minst 500 mm. För pålar över 300 mm i diameter avgörs tillräckligt borrhjup från fall till fall, men att borra mer än 1500 mm in i fast berg är normalt inte nödvändigt i svensk berggrund. På platser där sprängning sker i omedelbar närhet av rörpåleväggen bör dessa borraras minst 2000 mm in i berg. Som ett alternativ till att borra ner hela rörpålen i berg, om vattentäthet inte är ett krav, kan mindre pålar borraras genom pålrören och in i berggrunden.

Vid installation i sluttande berggrund bör rörpålarna monteras i stigande riktning. Detta då en påle normalt inte kan tillåtas gå djupare än den föregående, eftersom spontlåset då krockar med ringkronan på den tidigare satta pålen. Väljs en diameter som inkräktar på kommande påles lås kan pålen endast installeras grundare eller till samma djup som föregående påle i drivningsriktningen med ringkrona. Med en excenterkrona är detta inte ett problem, då denna inte lämnas kvar.

3.5 TÄTNING SOM BYGGS UPP MED SEKANTPÅLAR (SECANT PILES)

3.5.1 Allmänt

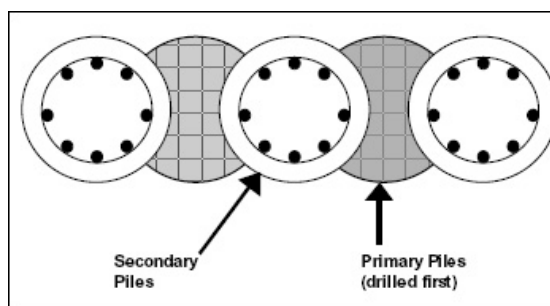
Sekantpålar eller grävpålar är en form av borrhax och därefter platsgjutna pålar, som utförs i en sammanhängande rad för att skapa en kontinuerlig, tät och bärkraftig vägg under mark, där pålarna sitter ihop genom överlappning. I detta kapitel ges en generell beskrivning av metoden med inriktning på hur den har tillämpats för reparation av fyllningsdammar, samt i kap. 6 praktikfallet Spjutmo.

Metoden med sekantpålar är vanlig internationellt, men mindre beprövad i Sverige. Aktuella erfarenheter av sekantpållning i åsmaterial i Sverige finns, förutom från Spjutmo, även från bl.a. Norra Länken (Norrtull) i Stockholm.

Arbetena inleds med att en så kallad styrbalk (kallas även ledbalk) gjuts på markytan i läget för den planerade sekantpåleväggen. Styrbalken har förgjutna genomföringar för borrningen av sekantpålarna och är till för att dessa ska hamna i kontrollerade lägen och för att underlätta styrningen vid borrning. 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 borrar efter mönstret i styrbalken. Därefter borrar de mellanliggande sekundärpålar, även kallade hanar, in genom de delvis härdade primärpålar, se Figur 3.5 - 1.

Neddrivningen utförs vanligtvis genom att ett foderrör med borrkrona längs rörets kant borrar eller drivs ner till avsett djup under vibration. Borriggen som driver ner foderröret kan belastas för att förbättra inträngningsförmågan och styrningen.



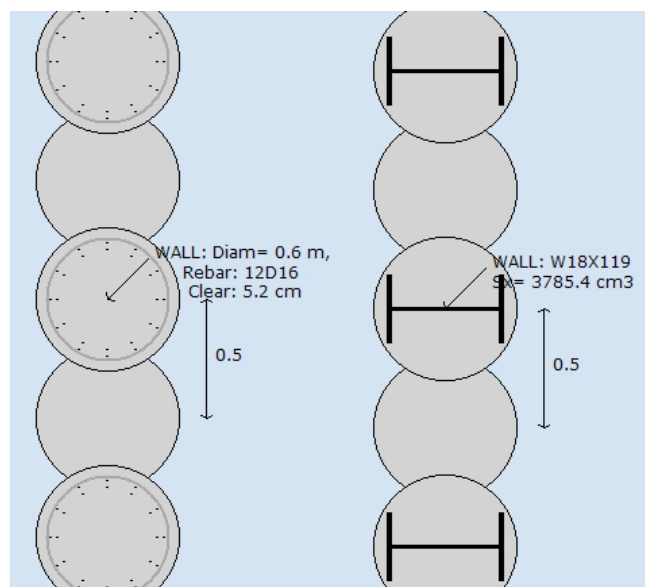
Figur 3.5 - 1 Typexempel på utförande med oarmerade primärpålar (markerade med rutor) och sekundärpålar försedda med runda armeringskorgar (ringarmering) med stående järn.

När primärpålar borrar och gjutits utförs de kompletterande pålar för att täta utrymmena mellan primärpålar med sekundärpålar. Tidsutrymmet för detta är begränsat, på grund av att primärpålar ska ha hunnit härda lagom mycket för att vara lämpliga att borrar igenom. En påle som härdat för länge medför att sekundärpålar lättare divergerar under neddrivning, varvid foderröret riskerar att dras snett i kontakten med den intilliggande gjutna primärpålen och att en bristfällig överlappning erhålls.

Sekantpålarna kan, bl.a. för att underlätta neddrivningen av sekundärpålar, 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 primärpålar för att minska divergeringen.

Jord-, och stenmaterialet innanför foderröret grävs successivt ur, ofta med gripskopa, men det finns också varianter där materialet skruvas upp ur foderröret. 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 på dess diameter.

Val av rördiameter beror på djup, krav på överlappning och sekantpåleväggens storlek. För en djupt gående vägg används oftast en tjockare diameter, för att säkerställa att erforderlig överlappning erhålls. Detta då pålar får en viss avdrift med ökat djup. En mindre diameter kan vara tillräcklig för ytliga konstruktioner, eller där den vertikala styrningen kan antas vara god. 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.



Figur 3.5 - 2 Exempel på sekantpålevägg dimensionerad med programmet DeepEx från grundläggningsföretaget Deep Excavation från USA.

Påldiametrar på upp till 6 m förekommer 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.

Vissa möjligheter till styrning av foderröret på djupet finns genom påförande av extra last på röret vid markytan med en så kallad oscillator. För förbättrad styrning vid borrhning i berg, eller för att passera överhäng, kan även en rotator användas.

Rördiameter väljs bl.a. också utifrån förväntad största materialstorlek i materialet som ska tas upp genom röret. Detta för att undvika mejsling om det går. För att erhålla god kontakt mot berg, eller krossa block som ligger i vägen för foderrörets neddrivning och som inte kan tas upp intakta genom foderröret, utförs om så bedöms lämpligt mejsling. Detta utförs genom att en tung, i spetsen mejsel- eller kryssförsedd, stålspole släpps inne i röret. För grundläggning mot trasigt ytberg utförs ofta mejsling av bergytan för att förbättra kontakten vid gjutning och minska det förväntade läckaget under den färdiga sekantpåleväggen.

Borrhning och gjutning kan göras i relativt grova och steniga jordarter och fyllningar och med mejsling kan pålarna utföras genom armerad betong och ner i gott berg.

Efter det att neddrivning utförts till avsett djup och botten i foderröret rensats, fylls röret med betong under uppdragning av foderröret. Detta tillåter utrymmet som uppkommer utanför foderröret under borrhning (överborrningen) att fyllas 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.

Betongens flytförmåga anpassas i förhållande till den kringliggande markens sammansättning, så att en lämplig inträngning uppnås. Betongkvaliteten varieras utifrån behov för att erhålla en passande styvhet. 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.

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 tvärlädd. Slutligt utförande avgörs genom en avvägning mellan teknisk-ekonomisk påldiameter. Vanligtvis är det mer ekonomiskt att gå upp i rördimension än att utföra parallella överlappande pålväggar.

Pålarna utförs vanligtvis i betong och kan vara både armerad eller oarmerad, beroende på användning. Armering görs ofta med prefabricerade armeringskorgar eller stålbalkar som sänks ner i foderröret för sekundärpålarna innan gjutning.

Vid anslutning till berg kan pålarna drivas ner i bergytan för att skapa en god kontaktzon vid trasigt ytberg. Mejsling medför områdespåverkan vid pålens grundläggning i form av kraftiga vibrationer. Svårigheter kan finnas med att tränga in i lutande bergytor. Detta behöver beaktas vid planläggning för arbeten invid känsliga konstruktioner, som t.ex. skadade tätkärnor i fyllningsdammar.

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

Metoden kan översiktligt sammanfattas stegvis enligt följande:

1. Installation av styrbalk i markytan. Detta görs oavsett om pålarna ska utföras med foderrör eller inte.
2. Neddrivning av foderrör för primärpålar (varannan påle, 1, 3, 5, 7 o.s.v.). Det totala antalet pålar, som utförs innan man går över till att installera mellanliggande sekundärpålar, begränsas av borrhastighet och hur snabbt det går att gjuta pålarna. Primärpålarna får inte härda för länge innan sekundärpålarna ska borraras.
3. Gjutning av primärpålar under uppdragning av foderrör. Vanligtvis borraras och gjuts en påle i taget innan nästa påle påbörjas (enligt punkt 2).
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 borraras 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 härdat för länge.

3.5.2 Prisbild för reparationsmetoden

Kostnaden för sekantpåleväggar varierar kraftigt beroende på de lokala förutsättningarna, som t.ex. om behov föreligger för speciell sammansättning på betongen, om dessa ska armeras, grundvattennivå, djup och material som ska borras igenom. Sekantpåleväggar kan ofta sägas vara ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ för komplicerade konstruktioner där enbart små deformationer kan tillåtas i den kringliggande marken.

3.5.3 För- och nackdelar sekantpålevägg

De främsta fördelarna med en sekantpålevägg som tätning i fyllningsdammar 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 schaktet.
- Väl utförda kan pålarna installeras så nära som 10 cm från intilliggande byggnader eller konstruktioner, utan att grundläggningen till dessa skadas.
- Vanligtvis uppkommer mindre buller under utförandet än för spontning eller pålning, om inte mejsling ska utföras 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 höjd 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 detta är möjligt.
- 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 jämfört med spontväggar är hög om installationsdjupet är mindre än 40 m. Metoden har för ytliga konstruktioner även en nisch där det pga. 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.

3.6 INJEKTERING SOM REPARATIONSMETOD

3.6.1 Allmänt

Jordinjektering för att tätare läckage i fyllningsdammar innebär att injekteringsmedel vanligen baserat på cement och olika tillsatsmedel pumpas in i de områden där läckage förekommer.

3.6.2 Injektering i Sverige och internationellt

Vid en jämförelse av reparationsmetoder för fyllningsdammar mellan Sverige (Skandinavien) och internationellt är det viktigt att utvärdera de skillnader som är vanliga både när det gäller byggnadsmaterial (tätkärna) och grundläggningsförhållanden. Morän både som tätkärna och som undergrund är ett exempel.

Internationellt, angående läckageproblem i grundläggningen för dammar, är kalkberggrund med karstbildningar en vanlig orsak, vilken också är dominerande i internationella rapporteringar. I Sverige förekommer svaghetszoner, spricksystem och förkastningar i berggrunden längs älvdalarna (vilket beror på att de naturliga erosionssprocesserna när naturen har skapat en vattenväg). Läckageproblemen finns i dessa zoner och även bankningsplan kan inverka. Förekomsten av sådana svaghetszoner undersöks vanligen under byggskedet och bergrensning, förstärkning och injektering utförs. Läckagen i berget kan även ha en stor dammsäkerhetsinverkan för betongdammar.

Grundläggning på jord skiljer sig också vanligen för skandinaviska förhållanden jämfört med övriga världen. I Sverige förekommer vanligen närmast berget en relativt kompakt lagrad morän, som är relativt tät och det är vanligen skikt med friktionsjord som innebär risker ur läckagesynpunkt.

Internationellt förekommer istället ofta sediment, bestående av mer ensgraderade sandiga, grusiga eller siltiga jordar i anslutning till vattenkraftanläggningar, vilket innebär helt andra risker vid ökade läckage än den uppvattning som förekommer i relativt kompakt morän vid läckage genom jordlagren i Sverige. Vid höga läckage i spricksystem i berget under moränen kan problemen vara allvarigare.

3.6.3 Injekteringsmetoder

Jordinjektering är en metod för att öka jordens bärförmåga eller öka tätheten hos jordmaterialet, skapa en tätande ridå. En stabilitetshöjning kan även skydda mot erosion eller skred.

Vid mer grovkorniga jordförhållanden kan injekteringen göras med ett vanligen cementbaserat injekteringsmedel som tränger in i jordens porsystem och tätar porutrymmet. Vid finkornigare jordar tränger injekteringsmedlet ut via sprickor och vattenspolning och uppspräckning förekommer för att kunna tränga ut i jordlagren.

Nedan redovisas kortfattat olika metoder för att täta, förstärka eller fylla ut hålrum med hjälp av injektering.

- Permeationsinjektering

Injektering av porer och befintliga kanaler – möjlig metod i kornstorlek från silt ($K=10^{-6}$ m/s) olämpligt i finkornigare material. Lämplig för att injektera skikt av friktionsjord, t.ex. i moränjordar under fyllningsdammar. Möjlighet att använda bentonitbaserade injekteringsmedel eller t.ex Silica Sol för god inträngning. En tät kärna är vanligen för finkorning för injektering av porsystem, möjligen kan dock mer koncentrerade läckagevägar, ”sprickor/kanaler” tätas.

- Uppspräckningsinjektering

Avsiktlig uppspräckning av jorden för att injekteringsbruket ska tränga ut. Metoden används vanligen inte i Sverige och kan generellt bedömmas som mindre lämplig, förutom i speciella fall. Det är svårt att styra sprickbildning och risk finns att nya läckagevägar skapas. Metoden kan bedömmas vara olämplig för injektering av tät kärna.

- Kompaktinjektering

Injektering av ett mer trögflytande injekteringsmedel, med syfte att detta ska spridas ut radiellt och kompaktera den omkringliggande jorden. Injekteringsmedlet ska inte stelna och injekteringen måste göras under dränerande förhållanden, för att undvika sprickbildning. Det är tveksamt om metoden är användbar för att förbättra den tätande funktionen i fyllningsdammar.

- Jetinjektering

Det finns olika varianter av jetinjektering. Grundprincipen är att finmaterial i jorden spolas bort med luft eller vatten under högt tryck, samtidigt som injekteringsmedel tillsätts (cement eller cement-bentonit). I kapitel 3.6.5 beskrivs jetinjektering något utförligare.

3.6.4 Injektering som reparationsmetod i Sverige

I Sverige är det främst permeationsinjektering och i viss mån uppspräckningsinjektering som använts vid tätningsåtgärder på fyllningsdammar.

Jordinjektering utförs vanligen med rör som borrar ned i jorden. Rören kan antingen vara perforerade på den del, eller det djup som ska injekteras eller också dras röret upp successivt samtidigt som injekteringsmedel pumpas in.

Det finns även manchett-tubror med ventiler på 0,3 – 0,5 m avstånd som installeras permanent. Med dubbelmanschett och ventiler kan olika sektioner injekteras med olika injekteringsblandningar.

För att erhålla en god utbredning av injekteringsmedel i finkornigare jord kan det vara nödvändigt att initialt med högt tryck skapa en spricka och därefter injektera med lägre tryck. I fyllningsdammar är det tveksamt om den metoden kan tillämpas eftersom det kan skapa läckvägar som kan förvärra situationen.

Allmänna beskrivningar av injektering som reparationsmetod finns i flera Elforskrapporter, däremot finns det begränsat med information om utförda arbeten.

Rapport 99:48	Reparation av jorrdammar genom injektering
Rapport 01:15	Bentonit i Fyllningsdammar
Rapport 05:34	Fillerbruk som reparationsinjektering för fyllningsdammar
Rapport 07:53	Reparationsmetoder för dammkropp i relation till inre erosion
Rapport 12:65	Reparationsinjektering av dammar och undergrund

I rapporterna finns kortfattade beskrivningar av injekteringsarbeten vid följande anläggningar (nedan anges även årtal för arbetet och typ av bruk):

Bastusel 1993	cementbruk, vattenglas, bentonit
Hällby 1986	cement, bentonit, silikatbruk
Näs 1989	cement, bentonit, kem
Porjus 1976-93	cement, sand/bentonit/cement
Rengård kraftverk 1983	cement, cement/bentonit
Ringdalsdammen 1999	cement, bentonit
Rätan 1994	cement/bentonit
Suorva 1983	cement, bentonit, silikat
Lilla Edet 2006	cement

3.6.5 Utveckling av Jetinjektering

I det följande diskuteras jetinjektering närmare och vissa jämförelser görs med traditionell jordinjektering.

Det finns några olika utföranden av jetinjektering där jorden eroderas via ett borrhör med munstycke ett visst avstånd radiellt ut från borrhöret. Den eroderade jorden ersätts med ett fyllningsmaterial som består av cement som blandats med det eroderade materialet. Utförandet kan göras i ett steg eller i två steg, se Figur 3.6 - 1. I metoden med ett steg eroderas jorden med vatten nedifrån och upp och ersättningsmaterialet injekteras nedifrån. Med ett utförande i två steg sker först urspolningen av material i ett steg då hålrummet fylls med lämplig slurry och därefter injekteras fyllningsmaterialet nedifrån.

Under senare år har utvecklingen gått mot att minska mängden överbliven jord, dvs att öka återvinningen av jordmaterial och även minska åtgången av cement.

Jetinjektering är använd utomlands med framgång vid injektering för grundläggning av dammar, men är inte prövad i Sverige. Den är lämplig vid grovkorniga jordar med en största materialstorlek under ca 150 mm och kohesionslösa material. En osäkerhet är att det är ett något okontrollerat förfarande, med osäkerhet om vad som sker i vid urspolningen.

Det går att utföra injektering även i grovkornigare jordar, men risken för att skuggor uppkommer med bristfällig tätning invid block ökar med ökad stenstorlek i jorden. Metoden bedöms mindre lämplig för åtgärder av den tätande funktionen men det finns exempel där den använts med bra resultat. Den bedöms dock ej lämplig för åtgärder i dammkroppen.

Metoden används huvudsakligen för att förstärka jorden, dvs. höja kompressions-egenskaperna. Tillämpning med syfte att minska den hydrauliska konduktiviteten eller för att åtgärda läckage är mindre dokumenterat. Metoden har utvecklats sedan 1960-talet och denna beskrivning baseras på utvecklingen i Japan, där metoden ursprungligen utvecklades.

Den förstärka pelaren som skapas när den mixade jorden som injekterats under uppdragning stelnar (metoden används huvudsakligen för att öka markens bärighet vid grundläggning av t.ex byggnader), kan ha en diameter på upp mot 5-7 m. Den används både i sandiga och leriga jordar.

Risken med urspolning och erodering och att i det momentet skapa nya och större läckvägar är uppenbar. Metoden bör enbart användas på uppströmssidan av tåtkärnan/tätjorden och med en liten diameter. Det går inte att på ett säkert sätt kontrollera diametern på materialet som eroderas och därmed verifiera vilket överlapp mellan pelarna som erhålls.

Fördelen jämfört med en "traditionell" jordinjektering är att jorden ersätts med ett blandat fyllningsmaterial som har egenskaper som kan kontrolleras, däremot är spridningen även vid jetinjektering en osäkerhet. Vid traditionell injektering fyller injekteringsmedlet de sprickor och kanaler som nås och det är stor skillnad mellan tätjordens egenskaper och injekteringsmedlets.

Vid konventionell injektering är livslängden för reparationen osäker och risken att nya läckagevägar uppträder i kontakten mellan tätjord och injekteringsmaterialet. Med jetinjektering skapas en vägg som om den utförts korrekt utgör en avskärande tätning med en betydligt mindre lokal variation i konduktivitet över dammens längdsektion än vid konventionell injektering där inträngningen är mer lokal.

En fördel är att metoden kan utföras med en förhållandevis lätt maskinutrustning. Det innebär att den kan tillämpas även på dammar med relativt smala krön, kanske ned till 4-5 m.

När det gäller resultaten av jetinjektering är det främst ökningen av tryckhållfastheten (compressive strength) som finns beskriven. Den är i storleksordningen 1 MPa för lerjord och upp till 3 MPa för sandig jord.

3.6.6 Utförande av injekteringsskärmar i berg

Grundläggande teknik som tillämpats under relativt lång tid för ridåinjektering i berg är väl etablerad. Utvecklingen under senare år gäller främst injekteringsmedel och metoder att direkt följa injekteringsprocessen. Relativt omfattande forskning inom berginjektering främst för tunnlar och undermarksbyggnation men med tillämpningar även vid ridåinjektering har utförts vid KTH och CTH och även vid Vattenfall Utveckling i Älvkarleby.

Exempel på metodik och teknikutveckling:

- Injektering i etapper – (upp/ner, eller ner/upp)
- Multikomponent cementbaserade injekteringsmedel, med låga vct (stabila bruk)
- Online-mätning och uppföljning av injekteringsprocessen, RTGC, (Real Time Grouting Control) – för kontroll av injekterad volym.
- MWD, measurement while drilling.
- Två rader med injekteringshål med förskjuten hålplacering har etablerats som mer eller mindre standard, vid ridåinjektering i berg. Ett vanligt utförande är med en linje djupinjektering och en grundare linje bakom denna.
- Split-spacing teknik, förtätning med mellanliggande borrhål vid stor åtgång på injekteringsmedel.
- Utvärdering av varje injekterat hål och varje utförd injekteringsrad.
- Internationellt har ridåinjektering med GIN-metoden (Grouting Intensity Number) utvecklats bland annat för ridåinjektering. Metoden har haft en mycket begränsad tillämpning i Sverige.

3.7 TÄTNINGAR SOM BYGGS UPP GENOM BLANDNING AV BEFINTLIGT JORDMATERIAL MED T.EX. CEMENT (SOIL MIXING)

3.7.1 Allmänt

Det har under de senaste 10-15 åren utvecklats metoder att istället för att spola/erodera jordmaterialet mekaniskt riva eller fräsa upp jordmaterialet i slitsar. Det frästa materialet blandas sedan direkt in situ med injekteringsmedel och utgör den nya tätningen. Dessa metoder bedöms betydligt mer lämpade än exempelvis jetinjektering och konventionell jordinjektering för tätning av läckage i fyllningsdammar eftersom utbredningen av tätningsarbetet (pelare, slits) kan kontrolleras betydligt bättre.

Den metodik som förefaller mest lovande för att kunna utföra en insitu-reparation med injektering, även kallad Soil Mixing, innebär att röra om och blanda in en slurry för att åstadkomma en "ny tätkärna" i ett moment. Det kan beskrivas som en hybrid mellan en slitsmur (eller en "slurry trench cut-off wall") och jordinjektering.

Ett antal varianter av detta har utvecklats under de senaste 10 - 15 åren. Dessa metoder har inte tillämpats i Sverige, men några utvalda internationella erfarenheter från olika utföranden som bedömts vara tillämpliga för dammar beskrivs nedan.

Djupa slurry diken eller slurry slitsar, skulle det kunna benämnas på svenska. Slurry slitsar har utförts internationellt för att uppföra tätande slitsar sedan många år. Metoder att röra om befintlig jord och blanda in injekteringsmedel för att åstadkomma en tät slits har funnits sedan 2003 och utvecklades bland annat av Bauer i Tyskland.

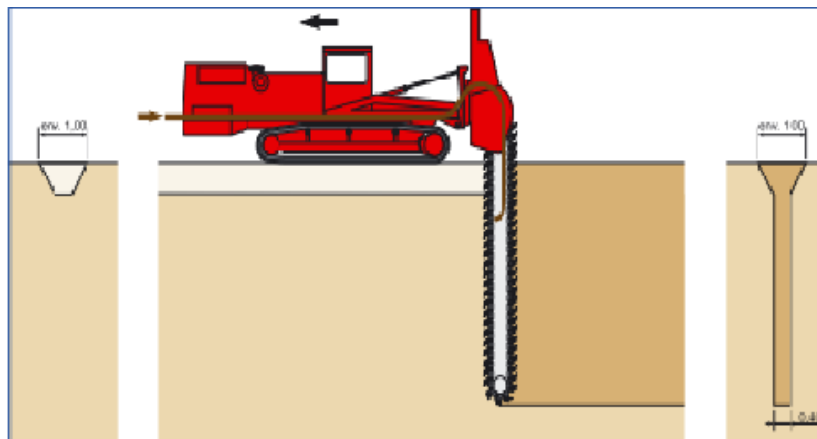
Det finns tydliga paralleller med t.ex kalkcementpelare, en metod med inblandning kalk och cement i befintlig jord som görs ur stabilitetssynpunkt. Den är vanlig i Sverige sedan lång tid för förstärkning av exempelvis lerjord.

Metoderna, soil mixing för tätning, som innebär en mekanisk materialblandning som utförs insitu kan beskrivas som både en utveckling av jordinjektering, samtidigt som det som produceras är en typ av slitsmur eller tätslits.

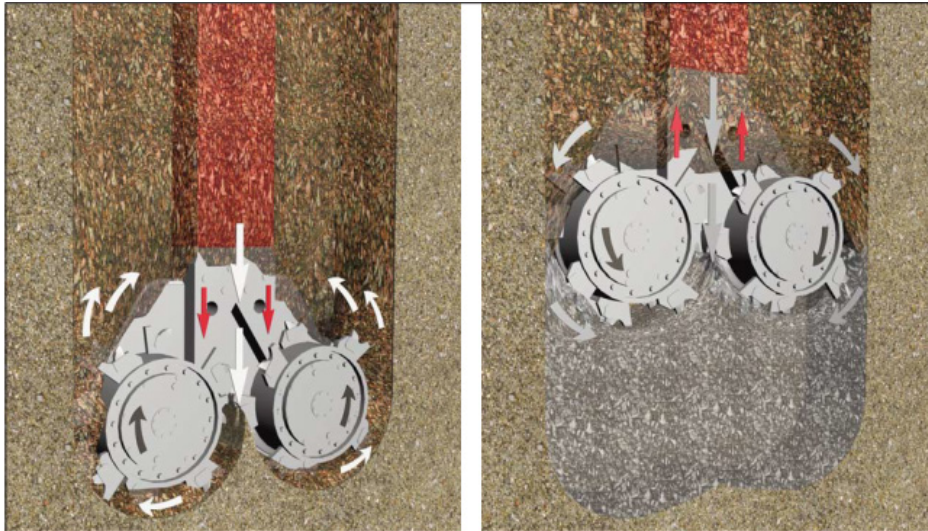
Det finns i princip tre olika typer av utföranden:

- Trenchmix – dikesgrävningsutrustning (trencher) med inblandning av injekteringslurry som utförs i ett moment. Kan utföras ned till ca 10 m. Exempel på maskintillverkare är Mastenbroek, England och Soletanche Bachy, Frankrike.
- Soil Mixing Wall – vertikal borrhoring med en skruvborr och samtidigt inblandning av injekteringsmedel både vid borrhoring nedåt och drivning uppåt. Metoden kan utföras på djup mellan 6 - 15 m, då ett visst överlagringstryck krävs. Borrhålen överlappar något för att skapa en tät vägg. Exempel på maskintillverkare är SMW – Bauer Tyskland.
- Cutter Soil Mixing – GeoMix, vertikalt skär- och blandningsverktyg monterat på en större bandgående rigg. Verktyget skär och roterar med flera klingor ned, samtidigt som injekteringsmedel tillförs vid neddrivning och upptag av verktyget. Vid neddrivningen kan även tryckluft användas för att ytterligare luckra upp jorden. Utrustning finns i olika storlekar för maximala djup mellan 20 och 60 m. Exempel på maskintillverkare är CSM – Bauer, Tyskland och GeoMix - Soletanche Bachy, Frankrike. Utrustningen för de större djupen kräver relativt stora riggar, vilket kan vara begränsande för användning vid dammanläggningar, då riggarna kan vara för stora och tunga och kräva en stor arbetsbredd och manövreringsyta.

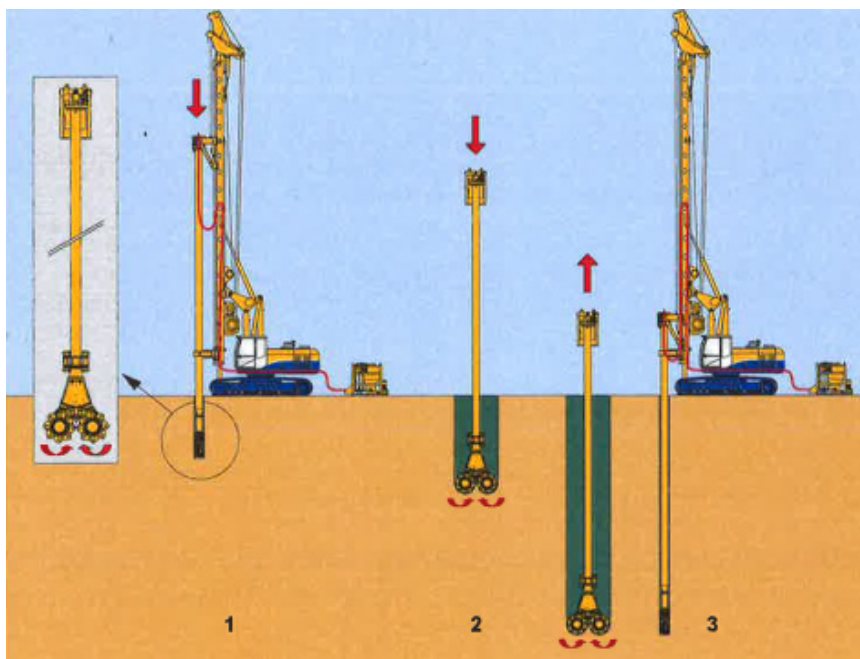
Principutförande för de olika metoderna visas i Figur 3.7 - 1 – Figur 3.7 - 3.



Figur 3.7 - 1 Principfigur, Trenchmix.



Figur 3.7 - 2 Principfigur, GeoMix.



Figur 3.7 - 3 Principfigur, Cutter Soil Mixing.

Nedan ges några exempel på tillämpningar.

3.7.2 Trenchmix

Metoden är validerad av Veritas i Frankrike 2009. Metoden kan utföras antingen "torr" eller "våt". Typiska arbetsparametrar redovisas i Tabell 3.7-1.

Tabell 3.7 - 1 Arbetsparametrar för Trenchmix.

Dikesbredd (mm)	400 - 500
Cementblandning (kg/m ³ naturlig jord)	150 - 300
Bladrotation (m/s)	0 - 4
Arbetsdjup (m)	2,5 - 10
Mixing Index (1/m)	100 - 350

Mixing index (I_M) anger hur homogen blandningen blir. Den beror av antalet blad, samt kvoten mellan rotationen och kedjans hastighet (inblandningen) och maskinens hastighet.

$$I_M = \frac{N \times V_{chain}}{V_{advance}}$$

Exempel på tillämpningar av Trenchmix:

- Förstärkning av en flodvall i Alsac, Frankrike.

Förstärkningen utfördes ned till 5 - 7 m djup i ett sandig jordvall. Tätningen utfördes med den torra metoden, cement fylldes i ett grundare dike. Vatten blandades sedan in samtidigt som tätslitsen utfördes. Provtagning utfördes kontinuerligt under arbetet och skjuvhållfastheten var 2,2 MPa efter 28 dagar och den hydrauliska konduktiviteten 7×10^{-7} m/s (medelvärden).

- Förstärkning av en flodvall vid Wisla i Polen (2009-2010)

Åtgärderna innefattande tätning och förstärkning av ett läckage vid grundläggningsnivån för flodvallarna. Tätningen utfördes ned till 6 m djup i osorterade sandiga, kvartära jordlager. Tätningen utfördes med den våta metoden, dvs. en slurry blandades direkt på plats.

Ursprunglig hydraulisk konduktivitet var i storleksordningen $10^{-4} - 10^{-2}$ m/s och kravet efter utförd åtgärd var $K < 10^{-8}$ m/s. Provtagning för kontroll utfördes på 1,5 m djup kontinuerligt under arbetet och resultatet kontrollerades även med provgropar intill slitsmuren ned till 4 m djup.

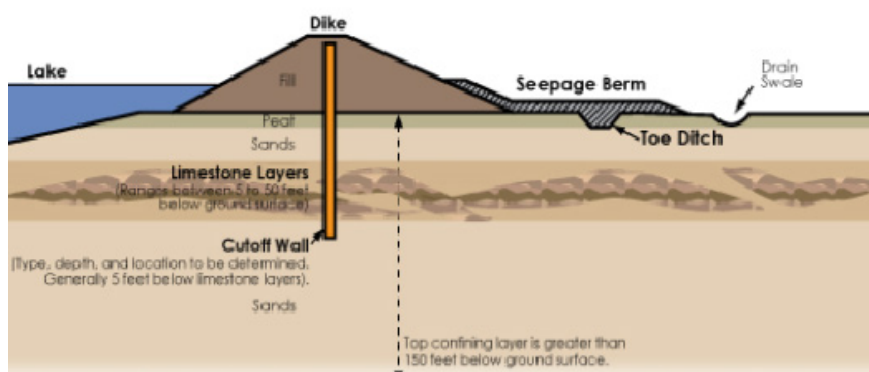
3.7.3 Cutter Soil Mixing

Exempel: Herbert Hoover Dike (Lake Okeechobee, Florida)

Slurrydike utförd i en lagerföljd av sand/grus – torv – sand/silt – kalksten, ned till ca 36 m djup. Slitsarna utfördes med en bredd av 0,45 – 0,9 m och längd 1,8 - 2,4 m.

Panelerna utfördes med överlapp, för att skapa en sammanhängande tätvägg. Slitsarna utfördes i fyra steg:

1. Positionering av skärverktyget
2. Vertikal neddrivning (med samtidig inblandning av bentonitslurry)
3. Upptagning samtidigt med inblandning av cementslurry med tillsatsmedel
4. Återfyllning, återställning



Figur 3.7 - 4 Principfigur från Herbert Hoover Dike.

Kraven vid utförandet var en hydraulisk konduktivitet $K < 10^{-8}$ m/s och en skjuvhållfasthet mellan 0,7 och 3,5 MPa.

Vid arbetet utfördes en kontinuerlig registrering av följande parametrar:

- Rotationshastighet på skärverktyget
- Neddrivningshastighet
- Volym slurry vid neddrivning
- Uppdragningshastighet
- Volym cementslurry vid neddrivning

Kontrollhål (borrkärnor) utfördes för kontroll av resultatet ned till 0,6 m ovanför panelens grundläggningsnivå. Kärnorna kontrollerades och provtagning utfördes. Borrhålen rensolades och fotograferades. Hydraultester utfördes för att kontrollera den hydrauliska konduktiviteten (medelvärdet uppmättes till 6×10^{-10} m/s).

3.8 DRÄNERING SOM ALTERNATIV TILL NY TÄTNING

I en del dammar som byggdes på 1950-talet utgjordes tätningen av träspontar och dammarna byggdes ofta som homogena dammar som helt saknade nedströmsfilter. Många av dessa spontar har vid senare års undersökningar visat sig ha uppnått sin livslängd och fyller inte längre någon tätande funktion. Vid ett par incidenter under senare år har spontens nedsatta funktion bidragit till att en förvärring av situationen. I flera fall har därför byggåtgärder genomförts för att kompensera för verifierade eller potentiella svagheter i sponten.

Ett alternativ till att ersätta träsponten med en ny tätning som beskrivits ovan kan vara att införa ett nedströmsfilter/dränage, som tillsammans med relativt tätt material

uppströms skapar en dammsektion liknande den för en zonad damm, där porttrycken i nedströms stödfyllning hålls låga. Exempel på tillämpning av metoden ges i kapitel 8.

3.9 FÖR OCH NACKDELAR MELLAN DE OLIKA METODERNA

I referens [3.1 – 2] finns omfattande beskrivningar av flertalet av ovanstående metoder och en jämförelse ges i Tabell 3.9 – 1 nedan. Metoderna och användningsområden för dessa är endast mycket översiktligt indikerade.

I kapitel 5 och 6 nedan beskrivs rörpålar och sekantpålar mer i detalj, och för- och nackdelar med olika tänkbara metoder för tätningar som studerades i de aktuella förstärkningsprojekten finns ytterligare beskrivna. I motsats till vad som anges i Tabell 3.9-1 så har det vid den svenska tillämpning av sekantpålar framkommit att de kostnadsmässigt kan konkurrera med andra metoder samt att möjligheten av kontroll varit god. Vidare har sekantpålar noterats kunna göras djupare än vad som anges av i referens [3.1 - 2].

Tabell 3.9 – 1 Egenskaper för olika typer av tätskärmar för uppgradering av fyllningsdammar (översättning av referens [3.1 - 2] Donald A. Bruce, 2013)

Metod	Princip	Djup m	Bredd m	Egenskaper för återfyllning	Kostnader		För- resp. nackdelar	
					Mobilisering	Produktion	Fördelar	Nackdelar
Gripskopa (Clamshell)	Olika sorters gripskopor kan användas för att schakta bort material i paneler	Max 75 m, normalt 45 m	0,4 - 1,5	Stort urval på återfyllning	Låg till måttlig	Måttlig till hög	Erfarenheter finns. Möjlighet till olika återfyllningar. Stora djup	Restprodukter. Block svårhanterliga. Risk för utläckage av slurry vid utförandet
Hydromill	Stor ram med skärande hjul och bortpumpning av jord, paneler	Max 120 m	1,0 – 1,5	Stort urval på återfyllning	Måttlig till mycket hög	Hög – mycket hög	Möjlighet till stora djup, kan schakta genom alla förhållanden. Kan vara mycket snabb	Stora kostnader Risk för utläckage av slurry vid utförandet Kräver stor plats
Grävsropa	Grävsropa med lång bom för att få räckvidd för att ge kontinuerlig slits	Max 20 m	0,7 – 1,0	Ofta används blandning – jord/ bentonit men även Jord/Cement / Bentonit eller Cement/ Bentonit	Mycket låg	Mycket låg	Mycket hög produktion Låga kostnader Stor erfarenhet	Begränsat djup Svårt att kontrollera hinder i schakt
Sekantpålar * Se kommentar i kap 3.9	Borrade rör med stor diameter som återfylls	Max 125 m	0,4 – 2,00	Vanligen betong	Hög till mycket hög	Mycket hög	Kan i vissa fall vara enda lösningen, avancerad lösning med hög kvalitet.	Höga kostnader, svår kontroll låg produktion
Blandning på plats	Skrubborr och inblandning av cement	Max 30 m	0,5 – 1,0	Blandning jord cement	Måttlig till hög	Låg till måttlig	Snabb, erfarenhet	Stor utrustning kräver utrymme, känslig för hinder, varierande effekt

4 Tätning med slits, utförande som tät-dike (slurry wall) eller paneler (diaphragm wall)

4.1 ORIENTERING

I Sverige finns endast två fall där tätning i låga dammar gjorts med hjälp av en 'slurry wall'; Juktan (år 1982/83) och Lövön (år 1998) där en slits schaktades med en traditionell grävmaskin och slitsen fylldes successivt med en blandning av cement, bentonit och vatten. De två fallen beskrivs nedan. Vid högre dammar utomlands har ofta 'diaphragm walls' använts för att införa en ny tätning. En beskrivning ges av förstärkningen av Hinze dam i Australien, där en 'diaphragm wall' byggts, samtidigt som magasinet varit vid dämningens gräns.

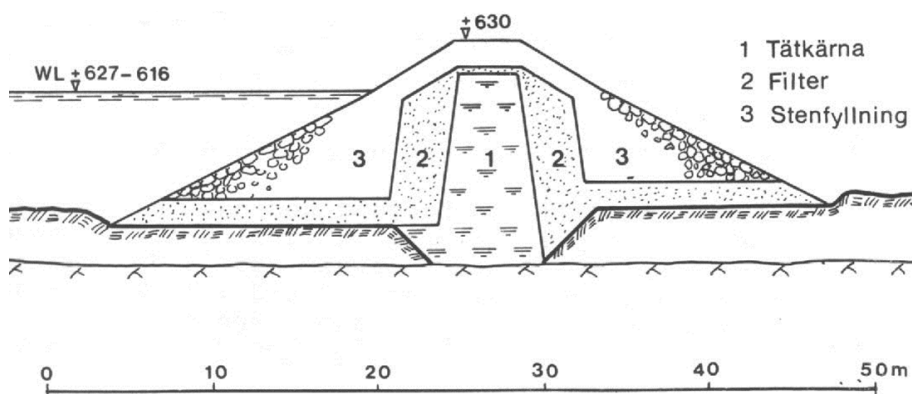
4.2 SLURRY WALL – JUKTAN DAMM

4.2.1 Bakgrund

Juktan, som togs i drift 1979, ligger i ett biflöde till Umeälven. Anläggningen var från början ett pumpkraftverk, men har numera konverterats till ett vanligt kraftverk. Till anläggningen hör tre invallningsdammar, vilka i huvudsak är grundlagda på morän, men damm 1 är även grundlagd delvis på berg. Dammarnas höjd är som högst 18 m, krönbredden 4 m och total krönlängd ca 2 600 m, se Figur 4.3 – 1. Tåtkärnan är central, vertikal och utfördes med torrpackningsmetoden. Filtermaterialet utgörs av finkornig sprängsten från tunnelschaktningen för anläggningen. Filtermaterialet placerades utan att ha siktats till lämplig gradering.

När dämningens nivå togs upp för första gången efter dammens färdigställande 1977 uppträdde ganska omedelbart läckage. De flesta av läckagen var lokaliserade till lågpartierna där dammarna är grundlagda på naturliga jordlager. Läckvattnet var grumligt av eroderat finmaterial. Undersökningar påvisade att inre erosion uppträtt.

Stenseparation kunde också konstateras både i uppströms-, och i nedströmsfilter. Till "filter" användes som ovan nämnts finare delar av sprängsten från schaktningar av tunnlar för anläggningen. Materialet var grovt och separation uppkom vid utläggningen till en sådan grad att filtret på sina ställen inte alls uppfyllde filterkraven mot tåtkärnan, jämför information om korngraderingen för nedströmsfiltret i Tabell 4.3 – 1. Håligheter fanns mellan större stenpartiklar och urspolning av finmaterial kunde konstateras. I en av dammarna noterades även filtret vara fruset under nivån för den aktuella dämningen innan reparationerna inleddes.



Figur 4.2 - 1 Juktan dammen, typsektion av dammarna vid uppförandet av anläggningen 1977.

Tabell 4.2 – 1 Juktandammen - Information om kornfördelning

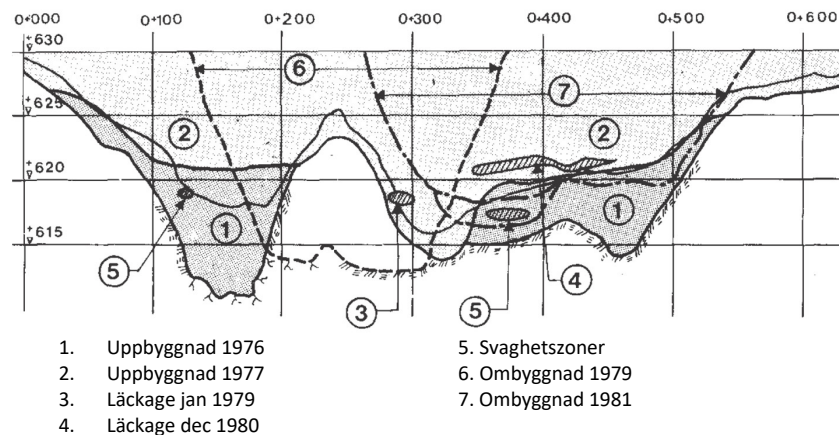
Nedströmsfilter	Tätkärna
$D_{\max} = 250 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
$D_{15} = 32 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,025 \text{ mm}$
$D_{50} = 95 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,22 \text{ mm}$
$D_{85} = 200 \text{ mm}$	$d_{85} = 4 \text{ mm}$
$D_{50} = 43, D_{15}/d_{15} = 1280, D_{85} = 200 \text{ mm}, d_{85} = 4 \text{ mm}, \text{Finjordshalt} = 36\%$	

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

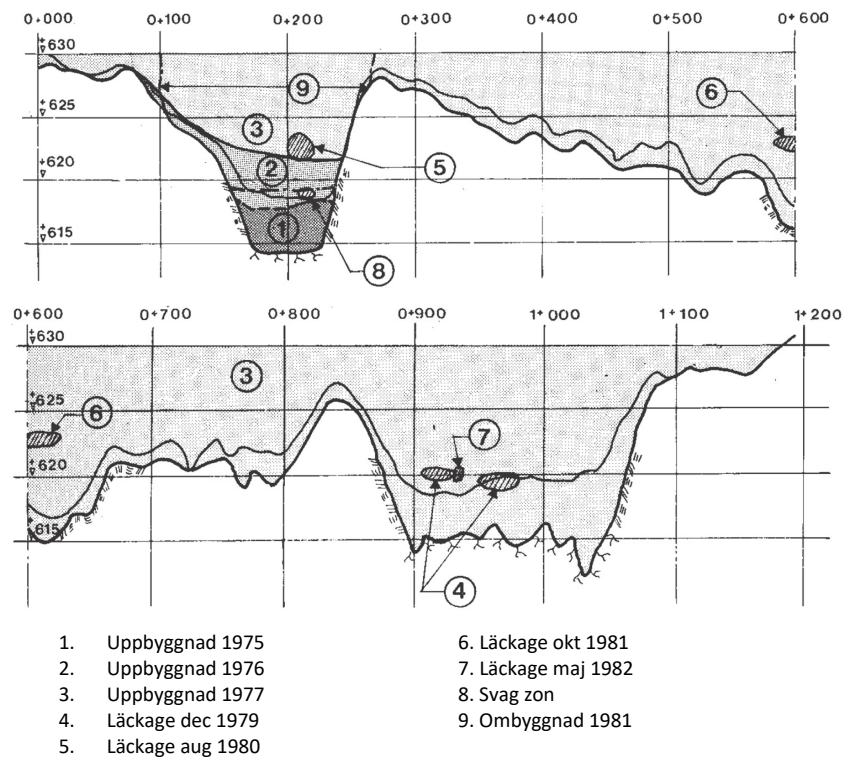
Skadorna tätades efterhand som de uppträdde med cement-bentonitinjektering. Totalt sex större läckage uppträdde fram till 1982, se Figur 4.2 – 2 och Figur 4.2 – 3. Det allvarligaste läckaget inträffade 1981 i en sektion där dammhöjden var 15 m. I detta fall hade nästan hela tätkärnan eroderat bort, varför denna del av dammen måste byggas om. Erosionskanaler och valvbildning kunde konstateras i tätkärnorna och på en plats fanns ett öppet hål (ca 0,5 m² i yta) rakt igenom tätkärnan. Magasinet kunde snabbt tas ner när läckagen noterades. Om neddragning inte hade varit möjligt av magasinet bedöms att dammen mycket väl kunnat gå till brott.

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

Filter och tätkärna lades vidare ut i alltför tjocka lager, vilket skapade en sågtandad övergång mellan zonerna, vilket bidrog till stenseparation i gränserna mellan lagren. I dessa områden skedde ursköljning av finmaterial. Tjäle uppstod dessutom i området mellan filter och tätkärna, åtminstone på uppströmssidan, pga snabba förändringar i magasinshöjden och upprepade nerkylningscykler.



Figur 4.2 – 2 Juktan - Profil längs Damm 1 med svaghetszoner och läckage genom tätkärnan. Zonerna där läckage förekommit kunde tydligt karteras i samband med ombyggnaderna som i markerade delar gjordes i etapper av hela dammsektionen.



Figur 4.2 – 3 Juktan - Profil längs Damm 3 med svaghetszoner och läckage genom tätkärnan. Läckagepunkterna är karterade i samband med ombyggnad 1981 som gjordes bitvis av hela dammsektionen.

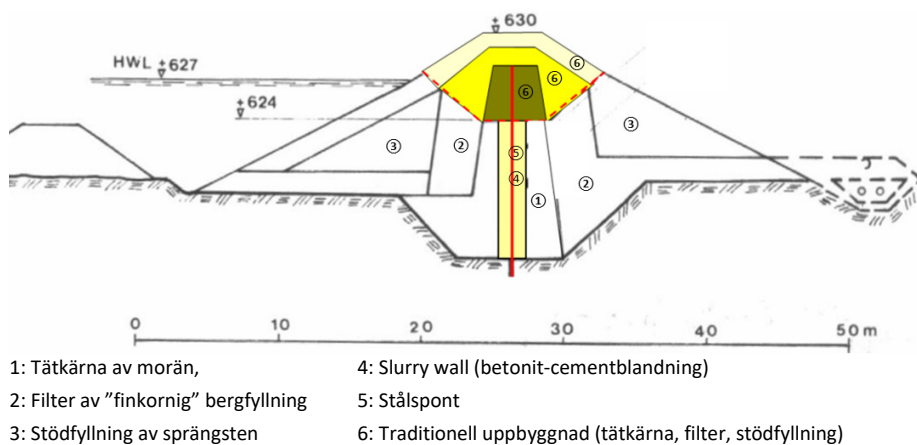
Dammarna lagades i omgångar och bitvis byggdes om tills slutligen dammarna i hela sin längd försågs med en slits fylld med en betongit-cementblandning. Slitsfyllningen var genom cementinblandningen självhärtnande till en plastisk massa. I slitsen placerades slutligen en stålspont innan blandningen helt hade härdat. Denna tätning utfördes i damm 1 under 1982 och i de övriga två dammarna under 1983. Detta bedömdes vara tillräckligt lågt för att hindra att inre erosion skulle uppträda under spontväggen.

Även nedströmsdränaget förbättrades i samband med ombyggnaden. Nedströms grundvattennivå hade varit konstant stigande vid anläggningen sedan idrifttagningen. Grundvattennivån hade dock alltid följt magasinens trend.

4.2.2 Reparation/ombyggnad

Juktandammarna åtgärdades 1982 och 1983 av Vattenfall. Konsult för arbetena var VBB (nuvarande SWECO) och entreprenaden genomfördes av Stabilator AB (nuvarande SKANSKA). Händelseförloppet med återkommande läckage innan förstärkningen genomfördes finns närmre beskrivet i referens [4.3 - 1].

En slurry användes med bentonithalt av ca 30 kg/m³ och en cementhalt av 270 kg/m³ Std. Portland cement. Generellt kan sägas att erfarenheterna från projektet var goda.



Figur 4.2 – 4 Juktan - sektion av förstärkt damm.



Figur 4.2 – 5 Juktan – Schakt av slits fylld med cement/bentonit-slurry och färdig 'slurry wall' med stålspons.

Krönet schaktades av för att grävmaskinen med förlängd arm skulle nå tillräckligt djup. Slitsen försågs med en stålspons för att få en god övergång till återuppbyggnaden av krönet och för att kunna slås ner i undergrunden där grundläggning var gjord på morän.

4.2.3 Erfarenheter

Magasinet användes av Vattenfall fram till år 2000 som det övre magasinet för ett pumpkraftverk. År 2000 övertog Scan Mining magasinet, som etablerade en gruva i området och magasinet användes för att deponera avfall från gruvbrytningen. Magasinet övertogs runt år 2010 av Lappland Goldminers, men gruvbrytningen har sedermera lagts ner. Dammarna har dock sedan de åtgärdades i början av 1980-talet rapporterats upprätthålla sin funktion utan att problem rapporterats.

4.3 SLURRY WALL - LÖVÖN DAMM

4.3.1 Bakgrund

Anläggningen, som finns i Faxälven, består av fyra fyllningsdammar och en betongdel. Fyllningsdammarna är uppförda med en torrpackad tätkärna av morän, som bitvis är grundlagd på berg och bitvis på morän. Tätkärnan skyddas enligt ritningarna av filterlager på respektive sidor om denna. Enligt vissa uppgifter lades det dock inte ut några särskilda filterlager, eftersom stödfyllningen av sandigt grus även bedömdes kunna utgöra filter. Dammarnas höjd är 15 m. Det är dock 20 - 25 m till berggrunden i det skadade partiet.

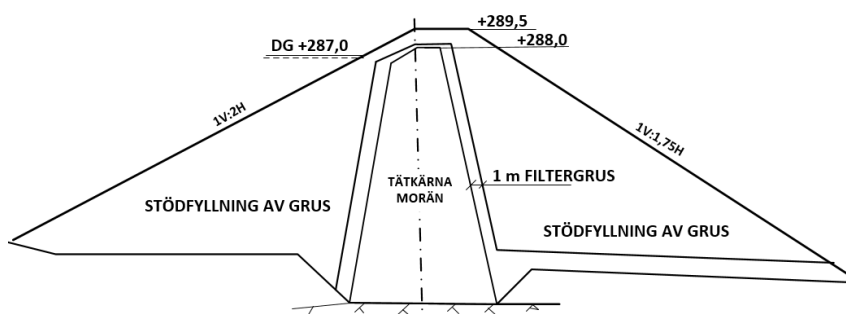
Jämför fotografi av dammen med anslutning till kraftstationen i Figur 4.3 – 1 och sektion av ursprungliga dammen i Figur 4.3 – 2. Krönet har en bredd av minst 4 m och den totala längden för fyllningsdammarna är 1 380 m. 1983 upptäcktes en sättning i den vänstra fyllningsdammens uppströmsslänt ca 20 - 25 m från fyllningsdammens anslutning till betongkonstruktionerna. Sjunkgropen hade en volym på 6 - 8 m³. Gropen fylldes igen och tillsynen på dammen ökades genom att vattenståndsrör installerades i nedströms stödfyllning.

Geotekniska undersökningar påbörjades 1985. I maj 1986 noterades en ny sättning i samma sektion som den föregående. Vid ett besök 11 dagar efter den första noteringen hade skadan fördjupats. En undersökning följde, varvid det konstaterades att dammens tätkärna hade skadats av inre erosion. I ett antal undersökta punkter på olika djup saknades finmaterial i moränen.

Information från byggnadstiden om kornfördelningen för ingående material framgår av Tabell 4.3 – 1. Det kan här noteras att nedströmsfiltret uppgavs ha ett D₁₅ på upp till 3,0 mm vid siktning av material mindre än 16 mm. Uppgifter saknades av mängden material större än 16 mm. Kornfördelningen uppfyllde härigenom långt ifrån dagens krav, som för det aktuella materialet i tätkärnan vid nybyggnad bör ha ett D₁₅ <0,7 mm, räknat på totalsiktningsskurvan.



Figur 4.3 – 1 Foto av dammen i Lövön, år 1998



Figur 4.3 – 2 Lövön, sektion från byggnadstiden år 1973

Tabell 4.3 – 1 Lövön – Information om kornfördelning

Nedströmsfilter	Tätkärna
$D_{\max} = \text{ca } 100 \text{ mm}$	$d_{\max} = 16 \text{ mm}$
$D_{15} = 0,4 - 3,0 \text{ mm}$	$d_{15} = 0,025 \text{ mm}$
$D_{50} = 1,5 - 65 \text{ mm}$	$d_{50} = 0,22 \text{ mm}$
$D_{85} = 25 - 100 \text{ mm}$	$d_{85} = 4 \text{ mm}$
	Finjordshalt = 30 – 40 %

Genom infiltrationsförsök i foderrör vid undersökningsborrningar konstaterades att även den hydrauliska konduktiviteten var hög i dessa partier. Porvattentrycket var också högt i tätkärnan och i nedströms stödfyllning. Vidare bedömdes att filtret på nedströmssidan av tätkärnan var igensatt. Temperaturmätningar i vattenståndsrör nedsatta i kärnan bekräftade att läckage och inre erosion förekom. Eventuella förändringar i läckage kunde inte noteras i samband med någon av incidenterna, eftersom direkta mätningar inte kunde göras, då nedströms stödfyllning är grundlagd på genomsläpplig naturlig jord med stor mäktighet.

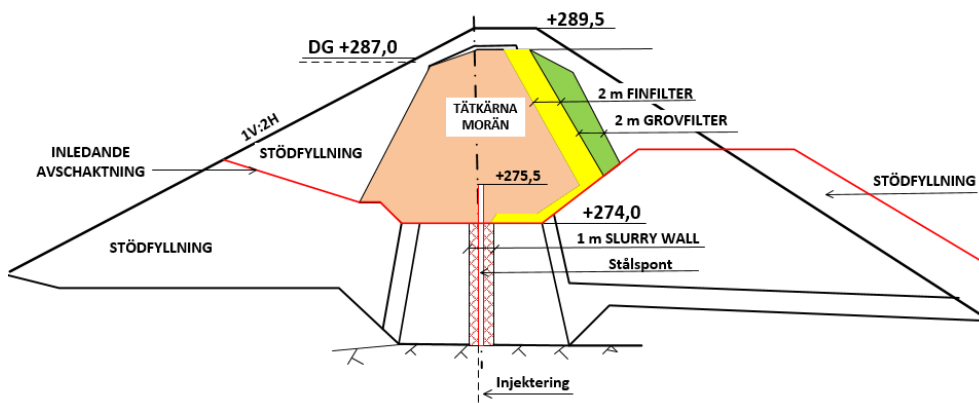
1992 beslutades att berggrunden under dammens tätkärna, samt även kontaktzonen mellan tätkärnan och berggrunden, skulle injekteras. Kompletterande injekteringar utfördes 1993. Injektering av dammkroppen planerades, men detta blev dock aldrig utfört. En stödbank lades ut 1994 längs dammens nedstömstå,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

Nya borrningar 1997 visade att tätkärnan på några nivåer saknade finmaterial i det tidigare skadade området. Grundvattenståndet och temperaturen mättes i vattenståndsrör och variationer i mätresultaten visade att inre erosion fortgår i dammen. Finmaterial antogs bli transporterat ut i nedströmsfiltret, eller in i sprickor i berggrunden. Mindre kaviteter kunde även noteras i tätkärnan. Dessa bedömdes med tiden kunna orsaka nya sjunkgropar i området för de tidigare. Övervakningsutrustningen och mätfrekvensen utökades i området sedan den senaste skadan observerades.

Under 1998 genomfördes ombyggnad av de skadade delarna av dammen. Områden med grusliknande material observerades på flera ställen i tätkärnan. Materialet visade sig ha en lägre finjordshalt (ned till 10%) i den mest skadade sektionen än i de övriga sektionerna (finjordshalt 30 – 40%). Troligen hade de minsta partiklarna transporterats bort från det skadade området. En förhöjd andel finmaterial påträffades också i nedströmsfiltret, se referens [4.3 – 1].

4.3.2 Reparation/ombyggnad

Dammen i Lövön åtgärdades med en 'slurry wall' med en slurry av bentonit, cement och vatten. En blandning specificerades: Bentonit: 30 – 45 kg/m³, Cement: 250 – 300 kg/m³.



Figur 4.3 - 3 Lövön, dammsektion efter ombyggnad



Figur 4.3 – 4 Lövön, schaktning av slurry wall och efterföljande montering av stålspons i diket.



Figur 4.3 – 5 Lövön, slurry wall och montering av spons är färdigställd och uppbyggnad av traditionell dammkropp påbörjad.

Vanliga sammansättningar för en cement/bentonit-slurry: Bentonit: 40 – 100 kg/m³ (beroende på bentonitkvaliteten), Cement: 80-350 kg/m³.

4.3.3 Utrustning och erfarenheter

Blandningen av slurryn gjordes i två steg med kolloidkvarn med dubbla elmotorer och ca 1500 Rpm. Först blandades Bentonit/vatten under 3 – 6 min, varefter cement tillsattes och blandningen fortsatte ca 1,5 minuter. På grund av bentonitens snabba hydration gjordes först ingen mellanlagring. Slurryn tillfördes i slitsen som undervattensgjutning via 100 mm stålrör. Fortlöpande provning gjordes med; fallkon, Marschalkon, Mudbalance-våg, höghastighetsblandare användes.

Omfattande damminstrumentering installerades med vattenståndsrör och porttrycksmätare. Vidare installerades optisk kabel i övergången mellan den gamla och nya dammsektionen, för att mäta temperaturen för att ge information om läckageförändringar.

Även resistivitmätningar och mätningar med självpotential har utförts för att detektera läckagevägar. Tätningen har rapporterats fungera väl, jämför referens [4.3– 2] och [4.3– 3].

4.4 DIAPHRAGM WALL – HINZE DAM

4.4.1 Orientering

Diaphragm walls har i stor utsträckning används utomlands för att erhålla en ny tätskärm i befintliga dammar. I Sverige har dock metoden inte använts för dammar. I det följande har därför beskrivits reparation av tåtkärnan i Hinze Dam, Australien. Utförliga beskrivningar finns i referens [4.4 – 1] och [4.4 – 2].

Hinze dam är en zonerad jord-, och stenfyllningsdamm belägen i Nerang River. Dammen har byggts upp i tre skeden;

- Skede 1: Dammen uppfördes på 1970-talet med en maximal höjd av 47 m.
- Skede 2: En höjning av dammen med 16 m utfördes på sent 1980-tal.
- Skede 3: I samband med planeringen av en ytterligare höjning av dammen med ca 15 m, till en slutlig höjd om 78 m, beslutades även att införa en diaphragm wall.

Följande svagheter påverkade dammsäkerheten vid start av Skede 3:

- Läckagevägar där inre erosion och bakåtgripande erosion kan initieras.
- Höga porttrycksnivåer i grundläggningen, som påverkar fyllningsdammens stabilitet.
- Okontrollerade läckage ut från grundläggningen mynnade nedströms dammen och höjda grundvattennivåer visade på lokala stabilitetsproblem.

Ett antal alternativ till åtgärder undersöktes, t.ex. injektering, tätskärmar, stödbankar av filtermaterial och uppströms panurer. Av dessa alternativ bedömdes tätskärm vara ”bäst för projektet”, och det alternativ som gav både den bästa tekniska lösningen och den lägsta möjliga risken för att ovan listade svagheter skulle kunna utveckla ett händelseförlopp som i ett slutskede leder till dammbrott. De alternativa åtgärderna som övervägdes finns beskrivna i referens [4.4 – 3].

De genomförda åtgärderna omfattade en 220 m lång och maximalt 53 m djup diaphragm wall. Bauer Foundations Australia (BFA) utsågs som Entreprenör. Arbetet påbörjades i maj 2008 och avslutades i januari 2009, vilket var ca 6 månader före tidplanen.

Tätningen schaktades med gripskopa (clamshell) och en hydraulisk slitsfräs (Hydrofrace). Maskinuppsättningen framgår av Figur 4.4 – 1.

4.4.2 Tidig inblandning av entreprenörer och utomstående specialister

Vid planeringen av förstärkningen användes ”ECI, Early Contractor Involvement”, dvs entreprenören fick under projekteringsskedet genomföra delar av projekteringen, där anpassning gjordes till entreprenörens maskinpark. Dammägaren anlätade parallellt utomstående specialister för aktuella arbeten. Projekteringen gjordes stegvis och upphandlingen gjordes förenklad på löpande räkning med diverse bonusar, dels för tidplan och dels för den totala kostnaden.



Figur 4.4 – 1 Maskinuppställning. Gripskopa (Clamshell), hydraulisk slits fräs (Hydrofrace) samt en mejsel (chisel) i bakgrunden, se referens [4.4 – 2]].

4.4.3 Diaphragm wall

Tätskärmen utgjordes av 57 paneler som antingen var 2,8 m eller 7 m breda. Till schakten användes en gripskopa och en hydraulisk fräsmaskin. Även en mejsel användes för att underlätta schaktningen, när man stötte på hårt berg. Vid schaktningen var schakten stabiliserad med en bentonitslurry, som under gjutningen ersattes med en 'plastisk betong' av cement, bentonit och vatten med projekterad hållfasthet på mellan 2 och 4 MPa. Tätskärmen utfördes centralt genom tätkärnan och in i den försämrade berggrunden för att minska läckaget. Schakt utfördes delvis genom grönsten med en uppskattad tryckhållfasthet på 160 MPa.

Fogarna utfördes genom att sekundärpanelerna delvis schaktades (överlappade) med primärpanelerna. På primärpanelerna kan en bentonitkaka bildas som kan skapa ett hålrum i den fyllda panelen. För att säkerställa att en sammanhängande tätskärm erhöles "rengjordes" fogen. Detta gjordes genom att först ersätta bentonit-slurryn med en mer viskös bentonit-slurry. Primärpanelens sidor rengjordes sedan med en borste, som fördes ner i panelen och skrapade rent primärpanelens sidor. Metoden visade sig vara väldigt framgångsrik för detta projekt.

4.4.4 Risker, kontroll och åtgärdsplaner

Risikanalyser visade att Hinze dam inte uppfyllde vissa nationella krav som gäller i Australien. Sannolikheten för ett dammhaveri pga inre erosion bedömdes vara betydligt större än sannolikheten för överströmning vid ett dimensionerande flöde. Riskanalyser genomfördes för att dels jämföra olika alternativ till förstärkningar och dels analyser för byggnadsfasen.

För byggnadsfasen analyserades risker i samband med schakter för panelerna, samtidigt som magasinet var vid dämningens gränser för det aktuella Skede 2. Initieringen av inre erosion i tätkärnan, på grund av det hydrostatiska trycket från bentonit-slurryn, värderades som den allvarligaste risken.

Analyserna genomfördes bl.a. i en workshop där konstruktör, en fristående panel av experter, samt entreprenörens experter deltog. Slutsatsen var att förhållandena under genomförandet av åtgärderna inte bedömdes förvärras i förhållande till situationen före förstärkning. Ett antal åtgärdsplaner togs dock fram för att täcka in oförutsedda händelser under tiden för genomförandet. Planerna innehöll en uppdatering av åtgärdsplanerna för att behandla en händelse där bentonit-slurryn sjunker i schakten, på grund av kontakt med genomsläppliga lager, eller uppspräckning av tätningen.

Planen innehöll bl.a. följande:

- Nivån för slurryn övervakas kontinuerligt. Förberedelse görs för att i nödsituation kunna återfylla schakten. Under natt och helger inspekterades nivån även visuellt var fjärde timme.
- Om nivån sjönk mer än 1,2 m mellan inspektionstillfällena fylldes slurryn på av entreprenören. Detta inträffade vid två tillfällen under byggandet av tätskärmen.
- Om slurryn i samband med schaktning sjönk mellan 0,3 till 2 m per timme ökades viskositeten för slurryn.
- Om sjunkningen av slurryn fortsatte eller var större än 2 m per timme planerades slitsen bli återfylld med sand. Om sjunkningen fortsatte planerades slitsen bli återfylld med betong.
- Ett beredskapslager med 30 m³ sand hålls i omedelbar närhet av schakten för att vid behov omgående kunna användas för eventuell återfyllning.

Under arbetets gång inträffade aldrig något behov av återfyllning, eller något stabilitetsbrott av schakten. Inga miljöproblem uppstod heller nedströms dammen. Arbetet avslutades i januari 2009, vilket var ca 6 månader före tidplanen.

4.4.5 Informationskällor

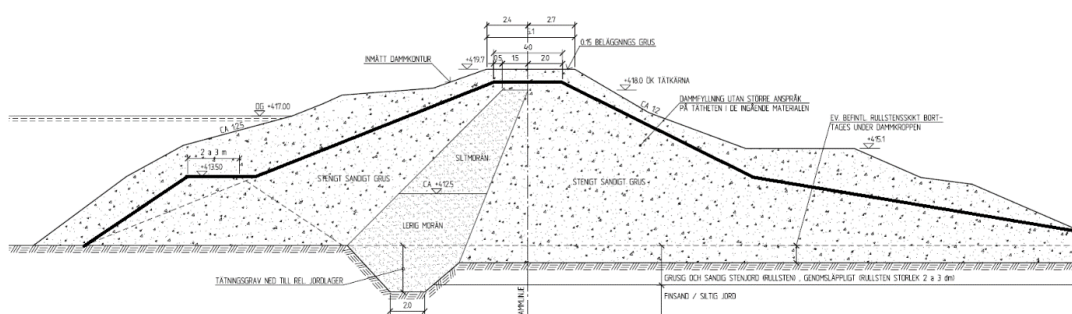
De angivna referenserna och delar av informationen ovan har erhållits från Mr. Shane McGrath från Australia shanem@g-mwater.com.au. Shane besökte Vattenfall för ungefär 15 år sedan och har sedan dess sänt information som också har kompletterats, se referens [4.4 – 4].

5 Ersättning av tätning med rörpålar – praktikfall Vojmsjön

5.1 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

Vojmsjön är en regleringsdamm utan kraftstation och används för att reglera flödet i Ångermanälven för de nedströms belägna kraftstationerna.

Uppkomna skador och genomförda reparationsåtgärder med rörpålar avser fyllningsdamm 3. Av de 4 jorrdammarna är det enbart denna damm som tillhör konsekvensklass 1. Damm 3 har en längd av ca 335 m och en högsta höjd för tätkärnan över lägsta grundläggningsnivå på ca 12 m. Dammen byggdes delvis om och förstärktes efter ett läckage 1950 redan i samband med utbyggnaden.



Figur 5.1 - 1 Plan och sektion över fyllningsdamm 3. Till höger på planen syns nedströms stödbank och anordning för läckagemätning (invallning av nedströms dammtå).

Dammen uppfördes under delvis svåra klimatförhållanden med låga temperaturer, ett pressat tidschema pga. de varierande magasinshöjderna utan byggkontrollant och tätkärnan utfördes inledningsvis med torrpäckning, varefter man övergick till våtpäckning. Dammen saknar egentliga filter, då stödfyllningen fungerar som ett grusigt, sandigt filter direkt mot tätkärnan.

Dammen är jordgrundlagd i hela sin längd och tåtkärnan, som i huvudsak är utförd lutande, är försänkt i undergrunden, som består av grusig, sandig, stenig morän, som delvis är genomsläpplig.

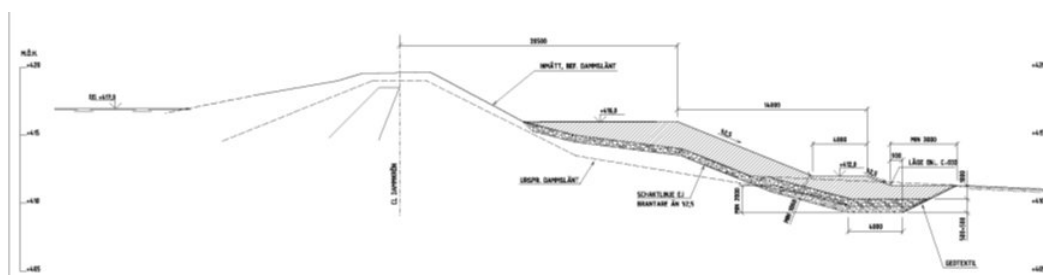
Dammens utformning framgår översiktligt av Figur 5.1 - 1. Vid undersökningarna inför nu utförda åtgärder konstaterades att lutningen på tåtkärnan varierade och att läget för tåtkärnans överyta var förskjutet i sidled (uppströmsåt) i förhållande till dammlinjen. Även sammansättningen på undergrunden bedömdes vara osäker och det kunde antas att det under dammen förekommer genomsläppliga lager, som inte hade skurits av när tåtkärnan schaktades ner i undergrunden.

Förenklat består stödfyllningen av grusig sand och sandigt grus, med inslag av sten. Tåtkärnan består av sandig, siltig, morän. Den ursprungliga marken under dammens fyllning består överst huvudsakligen av ett ca 3 m tjockt lager grus. Gruslagret övergår i sin underdel till silt och sand, vilket i sin tur underlagras av morän. De läckage som uppmättes före reparationsåtgärderna bedömdes främst förekomma längs den ursprungliga markytan, mellan nivåerna ca + 408 till + 419.

5.2 PROBLEMSTÄLLNING

Genom temperaturmätning i vattenståndsror i damm och undergrund har ogynnsamt stora läckage noterats förekomma genom och under damm 3. En tydlig korrelation kunde ses i läckagemängd mellan magasinstryk och uppmätt läckage. Responsten nedströms var förhållandevis snabb, vilket tydde på att utvecklade läckagevägar av en ogynnsam omfattning förekom.

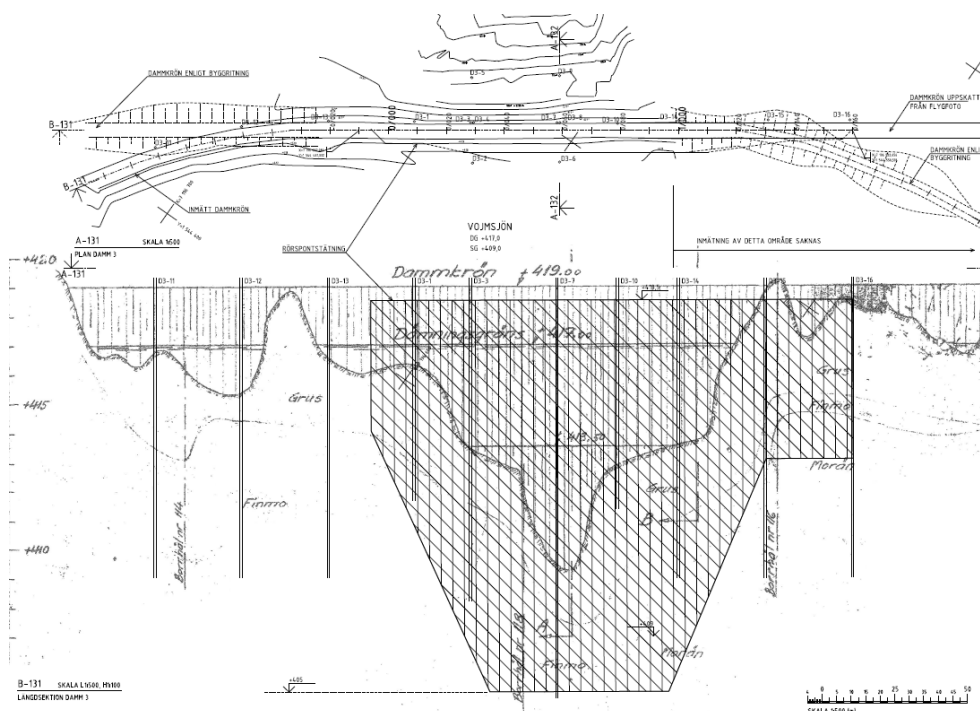
Vid provgröpsgrävning 2007 konstaterades även att krönet på dammens tåtkärna var lägre beläget än vad som framgår av det arkiverade ritningsmaterialet. Efter kompletterande fältundersökningar och utökad instrumentering under 2007, så genomfördes i ett första steg en förstärkning av nedströmsslänten med en stödbank av grovt material, se Figur 5.2 - 1. Stödbanken lades ut för att förbättra dammens erosionsbeständighet.



Figur 5.2 -1 Stödbank utlagd på nedströmssidan för att förbättra dammens erosionsmotstånd.

Ägaren gick därefter vidare med en kompletterande analys, för att fastställa behovet av permanenta åtgärder för att förbättra den tätande funktionen i dammen. Det konstaterades att läckage förekom minst så långt ut mot det högra anfanget som övervakning utfördes, det bedömdes att läckvägen ökar mot anslutningen och det dock inte var nödvändigt att täta hela den högra låga delen av dammen där gradienten är låg. På vänster sida indikerade temperaturmätningarna att läckaget var av betydligt mindre omfattning.

Utifrån detta beslutades att åtgärda de centrala delarna av dammen där den är som högst. Totalt bedömdes en yta av ca 1700 m² behöva åtgärdas, se Figur 5.2 - 2. Djupet i den sektion som åtgärdades antogs variera mellan ca 6 – 14 m. Efter en urvalsprocess bedömdes det utifrån lokala förhållanden lämpligast att utföra reparationen med rörpålar.



Figur 5.2 - 2 Planerad utbredning för område som behöver tätas. Området utgörs framförallt av den naturliga undergrunden i den gamla älvfåran i dammens mitt. Det är i detta område som de största läckagemängderna noteras.

5.3 VAL AV REPARATIONSMETOD

5.3.1 Allmänt

Ett antal olika metoder för att åtgärda dammens tätning och undergrund utvärderades inför projekteringen. Vägledande för detta var att dammens tätande funktion skulle ersättas i sin helhet till ca 1 m ner i tät och fast morän i dammens undergrund. Detta dels då utförandet av den befintliga tätkärnan bedömdes vara otillfredsställande i de centrala delarna av dammen, dels då ett större parti av dammens undergrund behövde åtgärdas med tätande åtgärder.

Följande utförandeförslag utreddes;

1. Slitsmur med eller utan nedschaktad spont
2. Sekantpålar
3. Vägg av överlappande jetpelare
4. Slagen spont med eller utan jetinjektering
5. MDM (Modified Dry Mixing)
6. Borrade rörspont

5.3.2 Slitsmur

En slitsmur som tätning går att utföra på olika sätt. Att ställa en stålspons i en slits fylld med slurry bedömdes som ett rimligt alternativ. Nackdelar med detta är främst att hantering av cement/bentonitblandning inte bedömdes lämpligt i Vojmsjön, då det vanligtvis förekommer minusgrader under den tid då det planerades att utföra reparationen. Detta gör att det kan vara svårt att utföra tätningen vid lågvatten i magasinet. Ett annat problem som identifierades var att eftersom Vojmsjön stiger mycket fort när vårfloden kommer måste arbetena sannolikt delvis utföras med hög vattennivå. Om det då förekommer koncentrerade läckage kan det finnas risk att det inte går att upprätthålla fyllningen i slitsen pga. utvaskning av slurryn, med risk för kollaps som följd. Det kan också vara problem med schakt av slitsen om det förekommer stora block i grundläggningen, då blockförekomst försvårar utförande av en slits. Kollaps av slitsen bedömdes inte vara en avgörande dammsäkerhetsrisk, men skulle vara tidskrävande och kostnadsdrivande om det skulle uppträda, då det ökar omfattningen av schaktningen.

5.3.3 Sekantpålar

Sekantpålar är platsgjutna pålar som tillverkas genom att foderrör borrar ner i marken. Materialet i rören schaktas successivt ur under neddrivning av röret och röret fylls med betong och eventuell armering innan röret dras upp igen. Pålarna utförs med en viss överlappning i syfte att skapa en tät stödkonstruktion. Metoden bedöms i princip vara likvärdig med rörpålar, men det fanns inga kostnadsmässiga fördelar då installationsdjupet var begränsat. Vidare fanns det sedan tidigare erfarenheter från likartade arbeten i Sverige med rörpålar, medan det ännu inte hade utförts en sådan reparation med sekantpålar, vilket senare kom att utföras i Spjutmo.

5.3.4 Jetinjektering

Jetinjektering utförs genom att ett injekteringsrör borrar ner till avsett grundläggningsdjup och därefter dras upp medan en cementblandning injekteras under högt tryck från det roterade röret. En osäkerhet med metoden är att block i marken riskerar att ge skuggeffekter så att inte full täckning eller överlappning mellan pelarna erhålls. Resultatet är svårt att verifiera och kostnadsmässigt ligger metoden högt jämfört med de undersökta alternativen.

Vid tillfället för reparationen fanns inte sänkborrhämmare med jetmonitor färdigutvecklat, så förslaget var att borra foderrör, vilka jetinjekteringen skulle utföras ifrån. Det bedömdes alltså inte att jetinjekteringsriggen skulle kunna borra sig ner till rätt djup på egen hand, vilket var kostnadsdrivande.

5.3.5 Spont

Enbart en slagen stålspons som tätningsmetod bedömdes som olämplig då det konstaterats förekomma stora block i undergrunden i läget för den gamla älvfåran. Blockförekomst försvårar drivning.

5.3.6 MDM

MDM är en utveckling av KC-pelarmetoden som inte lämpar sig i den typ av hårda/grova jordarter, varför den uteslöts på ett tidigt stadium.

5.3.7 Rörpålar/rörspont

Nedborrad rörspont var vid tiden för åtgärderna i Vojmsjön en i Sverige relativt ny metod som har liknande egenskaper som en traditionell spont, men som genom att den borrar ner inte är lika känslig för förekomst av block. Metoden var tidigare oprövad som dammtätning i Sverige, men det fanns utländska referenser där metoden använts. Metoden är också beprövad inom andra geotekniska arbetsområden. En farhåga var att det kan uppkomma en vertikal läckageväg utefter spontens utsida och därmed en stor gradient vid spontens underkant mellan upp-, och nedströms sida.

5.3.8 Val av metod

Utifrån anläggningens lokala förutsättningar valdes rörspont som tätningsmetod. Rörpålar bedömdes inte vara den billigaste lösningen av de som utvärderades, men den säkrast genomförbara och som medförde minst osäkerhet och minst risker under utförandet, trots att det bara fanns begränsad erfarenhet av metoden.

Med hänsyn till att så liten påverkan på dammen som möjligt skulle uppkomma under installationen beslutades det att borrar skulle utföras med Wassaras borrar metod med vattendriven sänkborrhämmare, vilken ger mindre störning av jorden än traditionell luftdriven borrar. Vattenhämmare minskar även risk för uppkomst av läckagevägar längs rörpålarnas mantelyta. Detta bedömdes också som gynnsamt för att minska risken för skador på tåtkärnan, vilket annars kunde medföra att punktläckage uppkommer under installationen av rörsponten.

Wassaraborrning går att utföra vintertid, men då den involverar vattenhantering blir det mer komplicerat och kostnadsdrivande vid låga temperaturer eftersom frysning måste förhindras.

Den praktiska skillnaden vid vattendrivning jämfört med luftdrivning är att volymen vatten som används vid borrar är betydligt mindre då vatten är i princip inkompressibelt. Detta påverkar förmågan att lyfta borrar ur röret. Detta kompenseras genom att minska den fria spalten mellan borrarsträngen och det borrarde röret, för att ha en bibehållen eller i alla fall tillräckligt hög hastighet på mediet som lyfter borraraxet.

Rörpålarna var i låsen försedda med en kanal för injektering, varför injekteringsrör för injektering av lås och mantelyta inte behövde svetsas fast på rörpålarnas utsida. Injekteringsrören är försedda med nipplar på jämna avstånd för att möjliggöra tätning av spontlåsen längs dess fulla längd. Injektering bedömdes dock inte vara erforderlig.

5.4 VOLYMER

Konventionell borrar med Ø 320 mm rör utfördes för en total dämmande yta av ca 1800 m². Samtliga rör kompletterades med invändiga plaströr, avsedda för injektering av undergrunden om så skulle visa sig erforderligt, alternativt för att möjliggöra porttrycksmätning i undergrunden. Bentonittillsatsen gjordes för att erhålla en något mer elastisk betong.

Följande volymer åtgick vid reparationsarbetena:

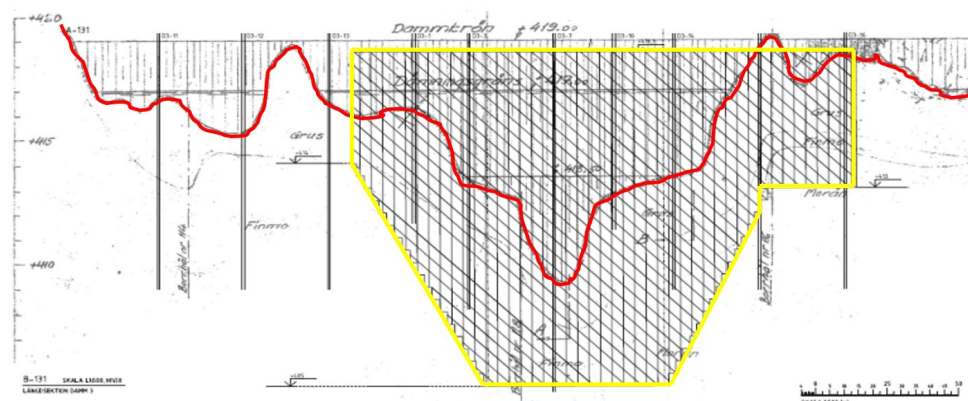
- 357 ton rörspont typ RD 320/8, vilket motsvarar ca 198,3 kg/m²
- 480 m³ jordschakt genom borrar
- 480 m³ återfyllnad med bentonitblandad betong K 30

5.5 GENOMFÖRANDE AV REPARATION

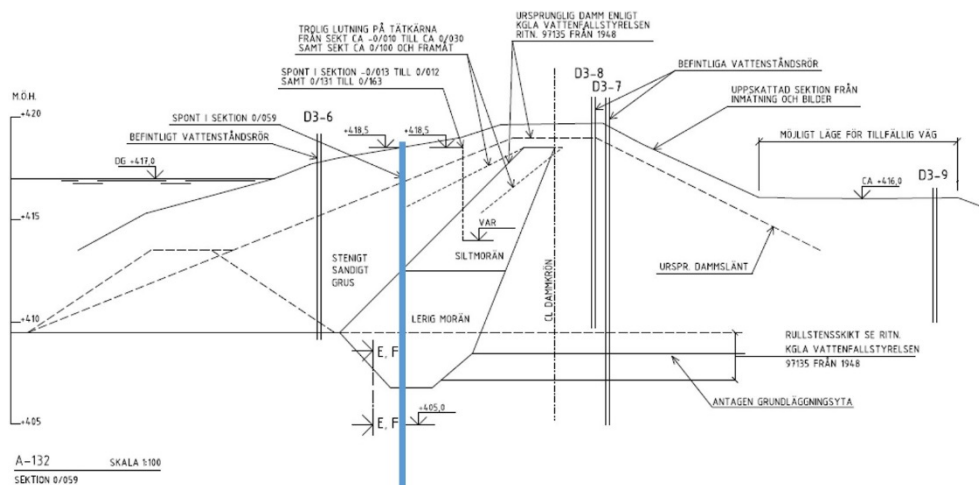
5.5.1 Allmänt

Installationen utfördes av Lemminkäinen och borrutrustningen tillhandahölls av Wassara från LKAB. Projekteringen utfördes av Geomind.

Tätskärmens utbredning är ca 170 m i längd med ett största djup av 14 m, se Figur 5.5 - 1. Det lägsta djupet som sponten installerades till var 6 m och den totala arean uppgick till ca 1700 m². I snitt installerades 90 m rör per skift om 12 timmar.



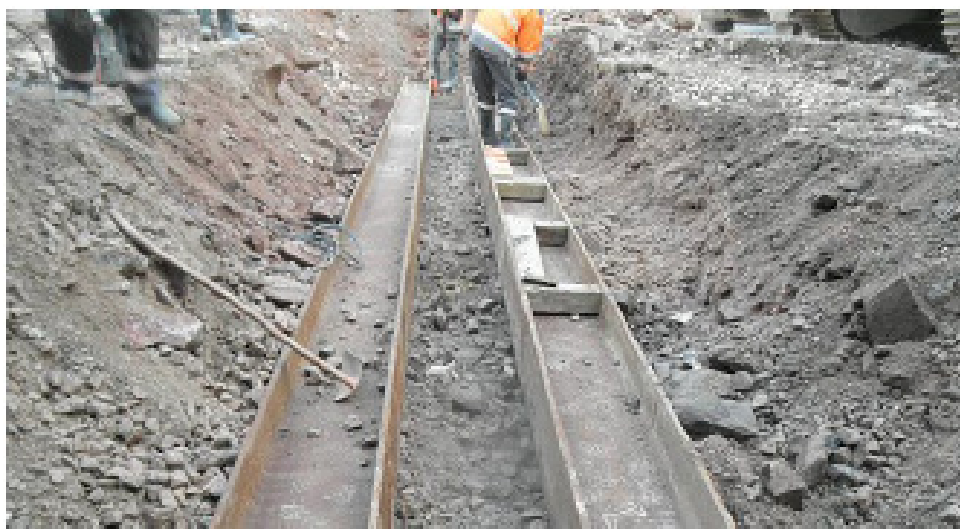
Figur 5.5 - 1 Längdsektion och ursprunglig markyta, samt projekterad yta för rörsponten.



Figur 5.5 - 2 Tvärsektion visande spontens läge och genomskärning av tätkärnan. I höger och vänster ände av spontväggen svänger denna av mot nedströmshållet och ansluter till tätkärnans övre del så att en kontinuerlig tätning erhålls.

5.5.2 Förarbeten

I läget för sponten grävdes ett dike för att hantera processvatten. Vattnet i diket samlades under borrning upp och pumpades till en grävd sedimenteringsbassäng i dammens södra ände, där processvattnet infiltrerades. Parallellt med diket på båda sidor om den blivande rörsponten utfördes en arbetsbädd för uppställning av maskiner.



Figur 5.5 - 3 Styrbalkar för mothåll vid neddrivning av rörspont.

Arbetsbädden byggdes upp av friktionsmaterial av lämplig fraktion så att en jämn och plan, bärkraftig, arbetsyta erhöles. Där så erfordrades lades först en geotextil på underlaget för att undvika att finkornigt material från arbetsbädden filtrerades ner i befintlig stödfyllning.

Parallella balkar utgörande en ram grävdes ner med början i sektion 0/060 på vardera sidan om det planerade läget för spontväggen, se Figur 5.5 - 3. Utläggningen av balkar fortsatte därefter i rörspontens installationsriktning. Balkarna var av typ HEB 300. Avsikten med balkarna är att hjälpa till att styra sponten i en rak linje vid installationen.

5.5.3 Borrning

Borrningen och monteringen utfördes med en bormaskin av typ Junttan 70 ton med 24 m bom, utrustad med en Wassara (DTH) sänkborrhämmare. Borrkronan bestod av en ringborrkrona, vilken fästes till rörpålen, som lämnades kvar och en pilotkrona som återanvändes. Varje rörpåle är försedd med spontlås, hona och hane, och rören sammankopplades genom dessa. Det först installerade spontröret är till skillnad från de övriga försett med två han-lås.



Figur 5.5 - 4 Excenterkrona med tre vingar (excentrar).

Installationen inleddes där rörväggen avsågs att vara som djupast, i längdsektion 0/060. Rörpålarna drevs ner en och en till ca 1 meter ner i det fasta moränlagret under dammens grundläggningsnivå. Kontroll hölls på uppborrat material för att verifiera att antagen slutnivå föreföll korrekt. Samtliga pålar kom att borrar till förbestämt djup. Uppborrat material var svårtolkat. Det går att skilja borrhax från naturligt material, men det visade sig svårt att bedöma lämpligheten på grundläggningsnivån utifrån att övervaka uppspolat material.



Figur 5.5 - 5 Borrhax som drivits upp på insidan av röret. Utrymmet som uppkommer på pålens utsida pga. överborrningen vid installationen fylls därigenom inte med borrhax. Vid vissa fall kan det därför vara lämpligt att injekera pålens mantelyta för att förhindra att det uppkommer en läckväg längs pålens utsida.

Under borrhningen hölls noggrann uppsikt på returspillet, för bedömning av genom-borrat material. Borrprotokollen ritades upp i sektion, vilket bidrog till att det successivt gick att följa och notera ungefärlig sammansättning av dammkroppen. Det gick även att grovt tolka var läckage förekom genom grövre material i området för den gamla älvfåran.

Efter slutförd borrhning, när installationslängden för respektive rörpåle uppnåts, lämnades vattenspolningen igång medan borrhsträngen drogs upp. Detta gjordes för att skapa ett övertryck i pålen, för att minimera risken för inspolning av material då nästa rörpåle borrades ned.

Färdigborrade rör försågs med en plugg av cellplast i toppen. Detta dels för att undvika att material från ytan skulle kunna hamna i röret och dels för att minska risken för att vatten från nästa rör som borrar skulle spolas upp genom röret och medföra att borrhkax blir kvar i röret. Avsikten var att spola upp allt borrhkax genom röret så att ingen uppträngning eller onödig materialstörning skulle uppkomma på rörens utsida. Returvattnet från borrhningen pumpades upp ur pålarna och vidare bort till sedimentationsbassängen.



Figur 5.5 - 6 Färdigmonterat rör innan kapning. De färdiginstallerade pålarna kapades ca 0,5 m under den blivande krönytan.

5.5.4 Foderrör

Vartannat RD-rör försågs efter kapning med ett invändigt foderrör av plast. Foderrören var standardiserade markavloppsrör i PVC Ø 160 mm.



Figur 5.5 - 7 Foderrör med monterade distanser och placering i rörpålarna.

Foderrören monterades i rörpålarna då metoden för dammar var förhållandevis oprövad. Syftet med foderrören var att kunna förlänga tätningen neråt om det visade sig att den var för grund. Dvs. om det skulle visa sig vara fortsatt läckage under rörsponten. Syftet med foderrören var bl.a. att möjliggöra eventuell framtida jetinjektering under pålväggens botten efter igengjutning av rörpålarna, om detta skulle visa sig nödvändigt. Utöver dessa rör placerades ytterligare sex foderrör avsedda för vattenståndsrör för att övervaka läckaget under spontväggen efter igengjutning av rören.



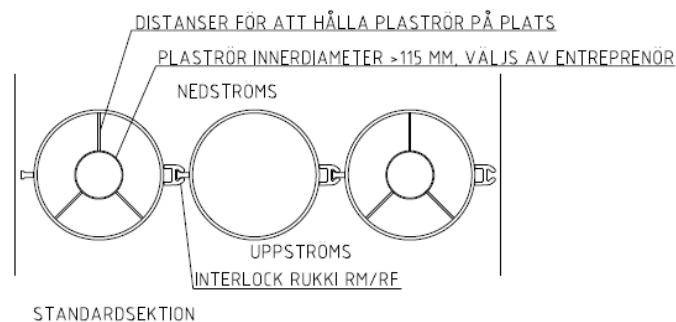
Figur 5.5 - 8 Foderrör monterade i varannan rörpåle.

Tanken var att placera vattenståndsrör med filterspetsar i nivå med spontens underkant, samt att borra ner ett antal porttrycksgivare i undergrunden. Avsikten med instrumenteringen var att övervaka om läckage och tryckutjämning förekommer över spontens mantelyta och ha möjlighet att utföra kompletterande injektering kring spontens underkant, om så skulle vara erforderligt.

5.5.5 Betongfyllning

Spontröret, alternativt tomrummet mellan spontröret och foderröret göts därefter igen från botten och upp med slang. Foderröret vattenfylldes under montering för att flytkraften inte skulle bli för stor.

Betong med lättflytande konsistens användes för att den skulle ha goda möjligheter att tränga ut runt rörets underkant, om det skulle finnas några spalter eller störda områden.



Figur 5.5 - 9 Typutförande av rörsponten med invändiga foderrör i varannan rörpåle.



Figur 5.5 – 10 Färdigmonterade spont försedd med skyddsmuffar.

5.5.6 Erfarenheter

Tätning av dammar genom borrarling av rörspont är en robust metod vilken bäddar för en relativ säker framdrift även om detta projekt led av högt slitage på borkkronor och en del barnsjukdomar med hammaren. Hammaren var helt ny och användes för första gången i produktion i detta projekt. I Vojmsjön borrades totalt 4620 löpmeter 320 mm rör.

De viktigaste erfarenheterna sammanfattas nedan.

- Väl dokumenterad geoteknik sparar pengar

I fallet Vojmsjön var det geotekniska underlaget begränsat trots att fältundersökningar och undersökningsborrningar utförts på dammen. Förslagsvis bör samarbetet mellan dammtekniker och geotekniker utvecklas i kommande projekt så att rätt information inhämtas i ett tidigt skede. Detta ger en potential att spara pengar i både projekterings- och utförandeskedet.

- Blockigheten underskattades med ökat slitage som följd

I anbudet hade blockigheten uppskattats och dokumenterats för att undvika diskussion under entreprenaden, samt för att ge entreprenören en möjlighet att förbereda sig med erforderligt grov utrustning. Dock var mängden block högre än väntat. I förfrågningsunderlaget hade höjd tagit för 100 löpmeter borrning i block, men resultatet låg enligt entreprenörens borrprotokoll i storleksordningen runt 600 löpmeter. Vid denna typ av borrning ställs höga krav på kompetensen hos borrentreprenören.

- Slitage på kronor ledde till materialbrist

Hur en krona slits beror i hög grad på genomborrat material, men även erfarenheten och kompetensen hos borrentreprenören är av avgörande för framdrift och slitage på kronan. För att undvika stopp i produktion måste materialtillgången säkras.

- Svårt att hålla rörsponten inom angiven lutningstolerans

Avdriften för lutningen var i detta projekt större än vad som angivits i förfrågningsunderlaget. Eventuellt hade det kunna undvikas genom noggrannare övervakning under installationen. Dock är inte denna typ av konstruktion lika beroende av vertikaliteten som exempelvis en traditionell stödkonstruktion. Eventuellt kan det i framtida entreprenader för dammar övervägas att tillåta större lutningstoleranser än vad som är standard.

- Vattendriven borrning fungerar ner till -20 °C

Inför projektstart bedömdes det osäkert vattenhanteringen vintertid skulle ställa till problem. Detta fungerade dock väldigt bra, men förutsätter noggranna förberedelser i form av isolering och att slangar töms ordentligt efter avslutat arbetspass. Möjlighet att tina slangar måste finnas. I de fall temperaturen föll under -20°C ökade svårigheterna avsevärt, isbildning uppkom trots ständig vattenrörelse.

- Tillstånd

Med Wassaraborrning kan det vara erforderligt med en sedimentationsbassäng för att ta hand om borrhvattnet. Tillstånd behövs vanligen även för avledning av vatten från magasinet, eller annan naturlig källa om sådan används.

- Börja med provningar av slurry/betongrecept i god tid

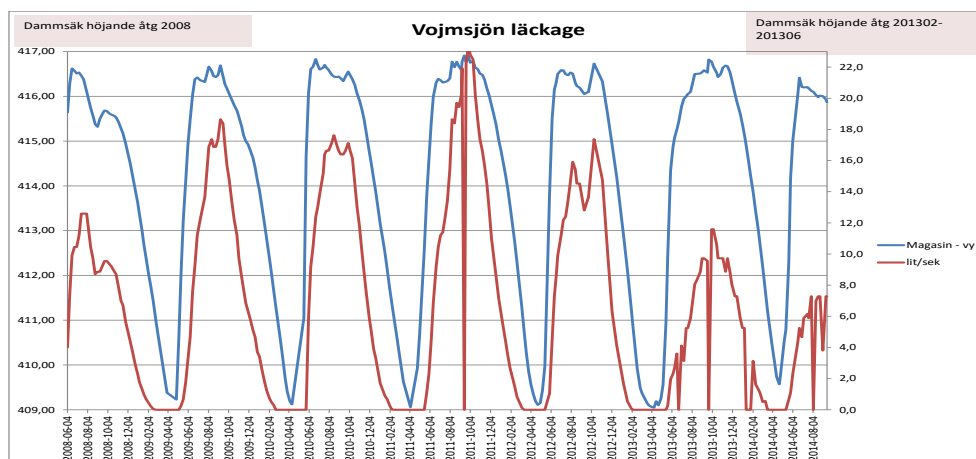
Använd beprövade recept eller utför provning i god tid under aktuella förhållanden så att inga överraskningar uppkommer under utförandet.

- Dokumentera och följ upp produktion löpande för prognostisering av tid och slutkostnad

I det aktuella fallet var sluttiden av avgörande betydelse, då magasinets vattenstånd stiger hastigt vid snösmältning. Genom att från första början följa installation och dokumentera framdriften, kunde sluttiden hela tiden prognostiseras och beställaren få möjlighet att göra ändringar under entreprenadtiden.

- Rita upp resultat från borrningen i elevation med beskrivning av genomborrat material fortlöpande för bättre förståelse och prognostisering

Genom att fortlöpande rita upp vad som dokumenterats i borrprotokollen kunde variationen i jordlagren följas, vilket gav entreprenör och beställare en tydlig bild av vad som väntade, samt att det gick att verifiera att det lager av grövre material vilket orsakat läckaget faktiskt borrades igenom med tillfredställande marginal.



Figur 5.5 - 11 Uppmätt läckage i förhållande till magasinets nivå. En tydlig nedgång i uppmätt läckageflöde kan ses efter färdigställd tätvägg (säsongen 2013).

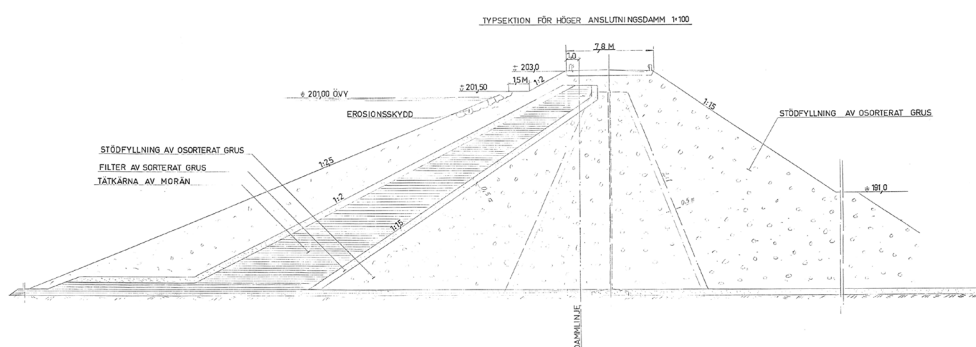
En tydlig effekt av åtgärderna kan ses i läckagemängden som uppmäts nedströms om dammen, se Figur 5.5 - 11. Jämfört med innan åtgärderna har toppflödet vid full magasinets nivå minskat med upp till två tredjedelar. Fortsatt noggrann uppföljning kommer att göras för att verifiera långtidseffekten av åtgärderna.

6 Ersättning av tätning med sekantpålar – praktikfall Spjutmo

6.1 BAKGRUND OCH ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

Kraftverket Spjutmo är beläget ca 20 km nordväst om Mora i Dalälven. Anläggningen tillhör konsekvensklass 1 och består av en mindre vänster fyllningsdamm, intags- och utskovskonstruktion i betong, samt den största dämmande konstruktionen, höger fyllningsdamm. Höger fyllningsdamm är ca 20 m hög över lägsta grundläggningsyta och är till större delen grundlagd på naturliga marklager med ett största djup på totalt 37 m från krönet, vid anslutningen till grusåsen som löper längs älvens högra sida. Bara intill betongkonstruktionen är dammens tätkärna grundlagd på berg.

Dammens dämmande konstruktion består av en lutande tätkärna av morän, vilken övergår till att vara vertikal i anslutningen till betongkonstruktionerna, se Figur 6.1 - 1. Figuren visar normalsektion med lutande tätkärna och delen närmast betongkonstruktionen med central, vertikal tätkärna inprojicerad.



Figur 6.1 - 1 Tvärsektion av höger fyllningsdamm, normalsektion i sektion 0/100.

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 ersatte den befintliga. Detta är den första dammreparationen som utförts med sekantpålar i Sverige.

6.2 UTVÄRDERING AV REPARATIONSMETODER

6.2.1 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 de viktigaste 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

6.2.2 Stålrörsspont

För arbetena övervägdes rörpålar typ RD320, vilket anger diametern i millimeter. Stålrörssporten 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..

Rörpålarna 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 bör för arbeten i damm utföras med vattendriven sänkborrhämmare. Detta då denna stör det genomborrade materialet mindre än en luftdriven hammare. Alternativet med vattendriven sänkborrhämmare och RD320 kan nå till ett maximalt djup av 24 m utan att stålrören 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 stålrörspålarna om väggen skulle ansluta mot berg vilket inte var beslutat i det inledande skedet av projekteringen.

6.2.3 Jetpelare

Jetpelare utförs genom att en borrhång med injekteringsmunstycken i den nedre ändan 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.

6.2.4 Sekantpålar

Sekantpålar är platsgjutna pålar som tillverkas genom att foderrör borrar ner i marken. Materialet i rören schaktas successivt ur under neddrivning av röret och röret fylls med betong och eventuell armering innan röret dras upp igen. Pålarna utförs med en viss överlappning i syfte att skapa en tät stödkonstruktion.

6.2.5 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. Denna metod bedömdes som olämplig då det inte kunde garanteras att trycket skulle kunna hållas uppe i slitsen pga. den partiellt permeabla stödfyllningen.

6.2.6 Vertikal tätvägg av injektering i dammlinjen och komplettering av skadad panur i magasinet

Möjligheten att injektera befintliga skadeområden i panuren ute i magasinet och i det skadade partierna av tåtkärnan diskuterades. 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.

Detta bedömdes dock inte som en permanent lösning och nya skador bedömdes kunna uppkomma eftersom svagheter i filter och i materialövergångarna mot undergrunden skulle kvarstå.

6.2.7 Membran över och kring de skadade områdena

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 ska 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 skulle 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 starka geodukar eller asfalt, samt erosionskyddas 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.

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

6.2.8 Slutligt metodval

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.

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

Ekonomiskt var sekantpålar klart förmånligare än rörpålar. Hade erforderligt djup för tätväggen varit mindre, så att skarvning inte hade varit erforderligt, så hade dock alternativet med rörpålar varit ekonomiskt konkurrenskraftigt.

Slutligt val avsåg en 122 m lång och upp till knappt 37 m djup sekantpålevägg ner till berg, vinklad åt uppströmshållet i anslutningen till åsen i höger ände för att där förlänga läckagevägen och minska gradienten kring väggens ände. Den utvalde entreprenörens anbud innebar att materialet inne i foderröret togs upp med gripskopa.

6.3 BERÄKNINGAR OCH MATERIALVAL

Inför projekteringen utfördes deformations-, och spänningsberäkningar i bl.a. PLAXIS för att verifiera inverkan på den nya tätväggen som kan uppkomma pga. av att läget för gradienten i dammen flyttas.

6.4 VATTENTÄTHET OCH DÄMMANDE FUNKTION FÖR SEKANTPÅLAR

Vattentätheten i sekantpåleväggen är, förutom betongkvaliteten, främst beroende på 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 är förekomsten av differentiella laster på de individuella sekantpålarna liten. Magasinslasten verkar som en utbredd last som är i princip lika över sekantpåleväggens längd.

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. Längden på anslutningen parallellt åsen designades så att gradienten längs denna skulle vara lägre än den för det antagna erosionsmotståndet för det naturliga materialet i åsen.

6.5 MILJÖASPEKTER

Då det genom observationer i vattenståndsrören och under borrhning under fältundersökningarna konstaterats att det förekom strömmande vatten under dammens grundläggningsnivå utreddes risken för miljöpåverkan av utströmmande cement till älven nedströms under gjutningsarbetena. De kända inläckageområdena i panuren på magasinets botten och i dammens uppströmsslänt täcktes med ett extra lager med sandmaterial innan gjutningsarbetena påbörjades. Detta för att minska risken för att nya skador skulle uppkomma i kontaktytan mellan panur och ifylld sand. Syftet med detta var 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 även för att minska risken för tryckförlust i pelaren under gjutning. Detta fick balanseras mot hur många primärpålar det var önskvärt att hinna gjuta innan man måste göra sekundärpålarna.

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 påverkan kunde detekteras av entreprenadarbetena.

6.6 KOMMENTARER KRING UTFÖRANDET

6.6.1 Förberedande åtgärder

Inledningsvis utfördes en breddning av dammkrönet genom att en stödbank utfördes upp till dammens krön mot dammens nedströmssida. Syftet med detta var både att förstärka dammen inför åtgärderna och för att skapa erforderligt arbetsutrymme för utförande av den nya tätväggen.

6.6.2 Styrbalk

Ett dike schaktades i läget för den planerade sekantpåleväggen. 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 ska placeras för att minska risken för bristfällig överlappning och ge ett styrtöd vid installationen, se Figur 6.6 - 1. Styrbalken utförs genom att frigolitblock motsvarande dimensionen för genomföringarna för foderröret sätts ut på en iordningställd och avplanad yta.

Frigolitblocken fixeras och mäts in med några centimeters noggrannhet i de avsedda lägena för sekantpålarna. En form byggs för styrbalkens utsida och armering utförs. Balken gjuts sedan mot frigolitblocken. Efter gjutning tas frigolitblocken bort.



Figur 6.6 - 1 Första etappen styrbalkar gjutna och frigolitblocken borttagna.

6.6.3 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.

Vid borrning i tätjärna 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 mejsel 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.



Figur 6.6 - 2 Gripskopa lyfts. Till vänster syns material som tagits upp ur foderröret med gripskopa.



Figur 6.6 - 3 Foderrör under neddrivning. Oscillatoren vilar på träbjälkar för att inte skada de gjutna styrbalkarna. Till vänster syns mejseln som lyfts.

Mest tidskrävande för borrhningen var mejslingen i berg. Normalt var framdriften ungefär en påle om dagen, inklusive gjutning. Normalt låg installationen av sekundärpålar 1 – 6 pålar bakom primärpålarna, varierande beroende på framdrivningshastigheten. Antalet primärpålar som gjöts i förväg avpassades fortlöpande för att dessa skulle ha härdnat lagom mycket för att foderröret vid borrhningen 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. Injekteringsröret dras successivt uppåt allteftersom röret fylls och hålls konstant mellan 1,5 – 2 m under betongmassans överyta.

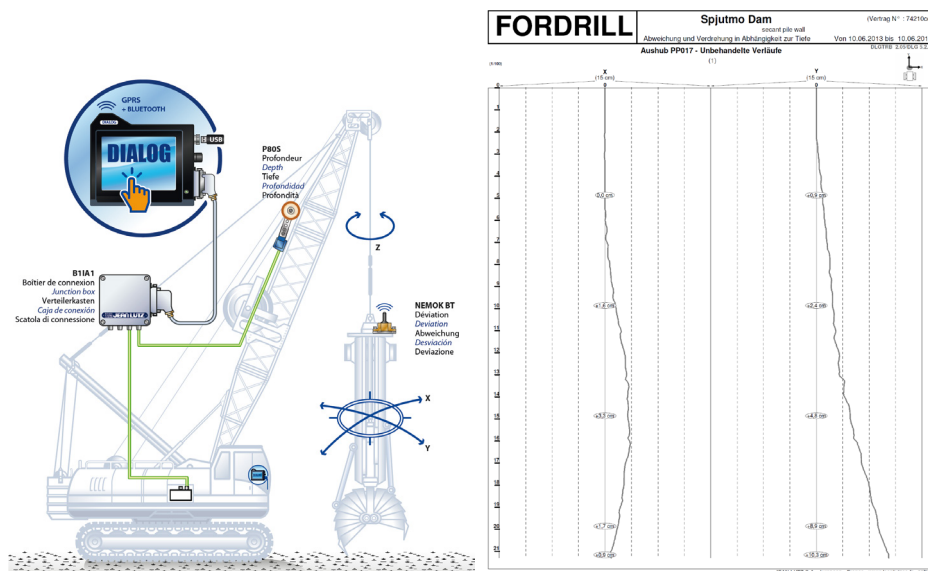
6.6.4 Pålarnas dimension och centrumavstånd

Sekantpål väggen beslutades slutligen 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 som smalast, till 200 mm. Detta avser båg längden i kontaktytan mellan två pålar där de skär in i varandra. Noggrann mätning utfördes för att säkerställa att avdriften mellan två intilliggande pålar inte uppträdde åt motsatta håll.

I det fall att en sådan divergerande avvikelse uppmäts utförs normalt en kompletterande mindre sekantpåle i anslutningen mellan de två divergerande pålarna, för att täta glipan mellan dessa.

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.



Figur 6.6 - 4 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 max 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 presenterades ett mätsystem av märket Jean Lutz för övervakning av pålens riktning, se Figur 6.6 - 4.

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 oscillatoren.

Endast i en punkt uppmättes en, utan att beakta övergjutningen, bristande överlappning mellan två pålar där kravet på 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 något tätare överlappning väljs med de täthetskrav som under projektets gång fastställdes för Spjutmo.

6.6.5 Anslutning till betongkonstruktionerna

Anslutningen mot utskovspelaren löstes genom att en 450 mm bred spontplanka drevs i låset till den yttersta ingjutna plankan i den befintliga sponten, som är ingjuten i pelarsidan mot utskovet och i underkanten är ingjuten i en fals mot berg. Spontplankan drevs samtidigt in i den närmaste sekantpålen, innan denna härdat. Kompletterande injektering mot berg i spontens underkant utfördes därefter genom påsvetsade rör på spontplankans sidor.

6.6.6 Uppföljning av arbetena

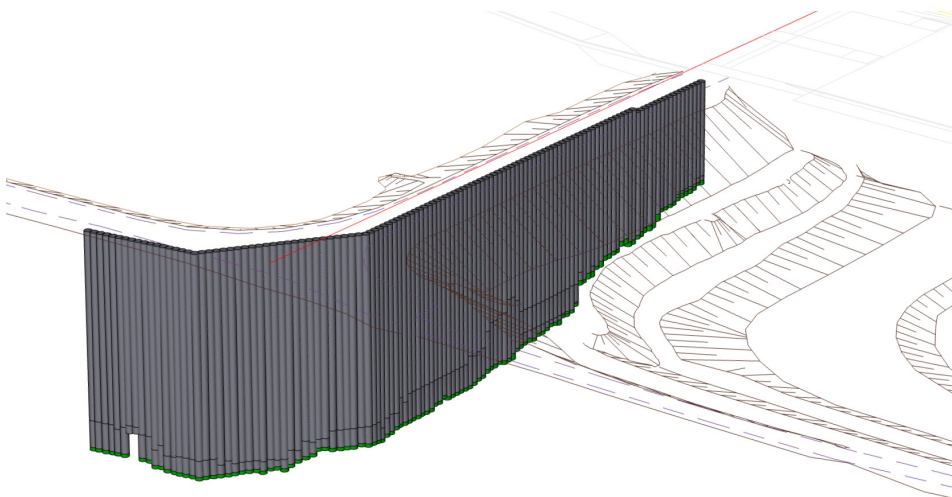
Framdriften gick enligt plan och låg tidvis före tidschemat. I snitt borrades och göts en påle per arbetsdag. I snitt åtgick ca 10 % överbetong vid gjutning, vilket är en normal omfattning för det material som gjutningen utfördes i. I vissa sektioner, där det sedan tidigare varit känt att avvikelser förekommer i dammens ursprungliga tätning, krävdes punktvis (speciellt vid pelare 21 och 22) upp till 25 % överbetong vid gjutning i stödfyllningen. Detta är i samma område som i magasinet infiltrerad Rådasand påträffades vid borrningen för sekantpålarna.

Påldjupet ökade successivt från 17 m invid utskovet och var som djupast ca 37 m vid höger strand.

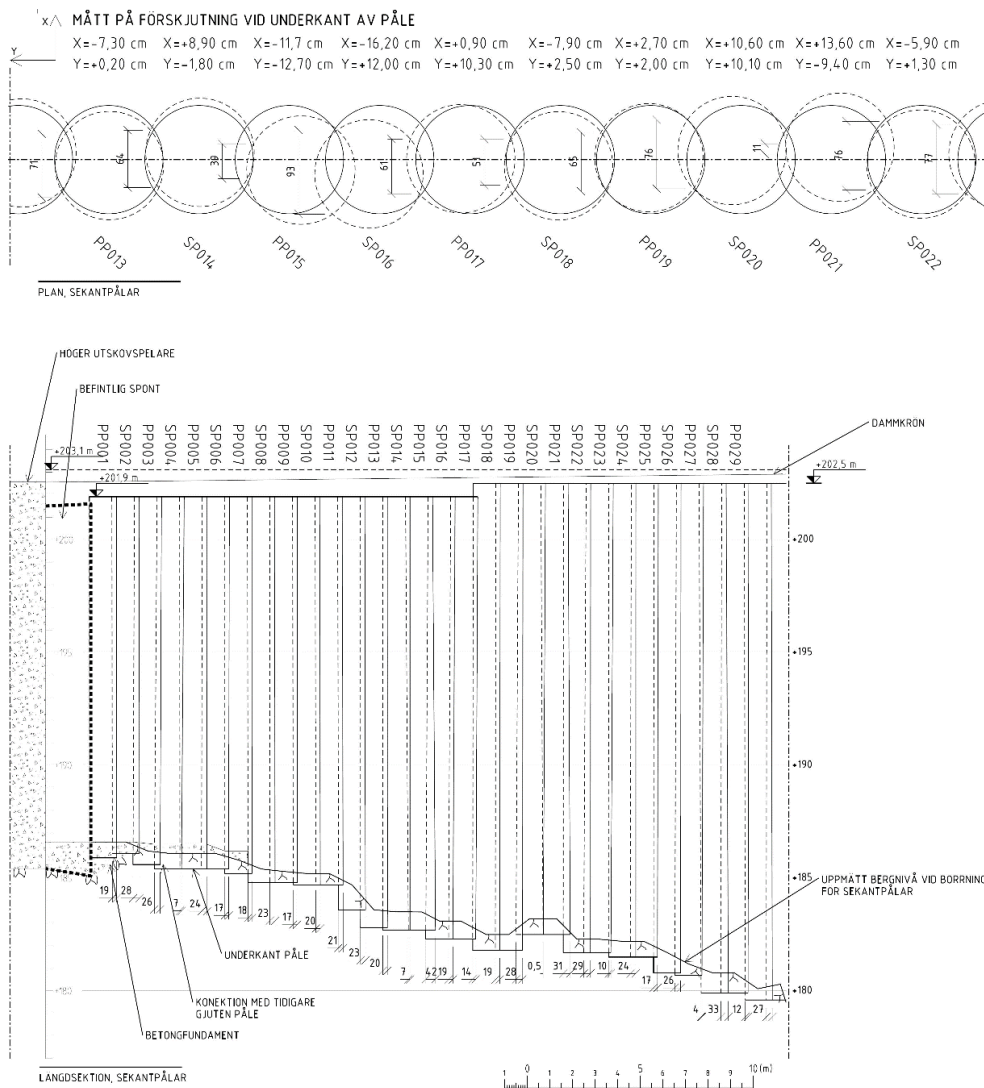
Lokalt invid sekantpåleväggen noterades som väntat kraftig temperaturpåverkan från värmeutvecklingen under gjutning och medan pålarna härdade. I övrigt kunde mätdata verifiera gjorda antaganden om rimliga förändringar under byggtiden.

Under entreprenaden utfördes återkommande dykningar i magasinet för att övervaka de sedan tidigare kända inläckagepunkterna i uppströmsslänten och magasinet botten, för att kontrollera att inga skadliga förändringar uppträdde under arbetets gång.

I Figur 6.6 - 5 visas en modell av den slutliga utformningen av sekantpåleväggen. Figuren är tagen från nedströmshållet med pålväggens vinkling mot uppströmshållet till vänster i bild och anslutningen till betongkonstruktionerna till höger.



Figur 6.6 - 5 Slutligt utförande av sekantpålevägg. Grönt avser inträngning i berg. Luckan till vänster i bild avser träff i ett stort block. Då detta är 30 meter ner i naturlig mark och i väggens förlängning in i åsen bedömdes det inte nödvändigt att mejsla igenom de påträffade blocken.



Figur 6.6 - 6 Exempel på pålredovisning av pålarna närmast betongkonstruktionerna visande uppmätt överlappning och bergkontakt.

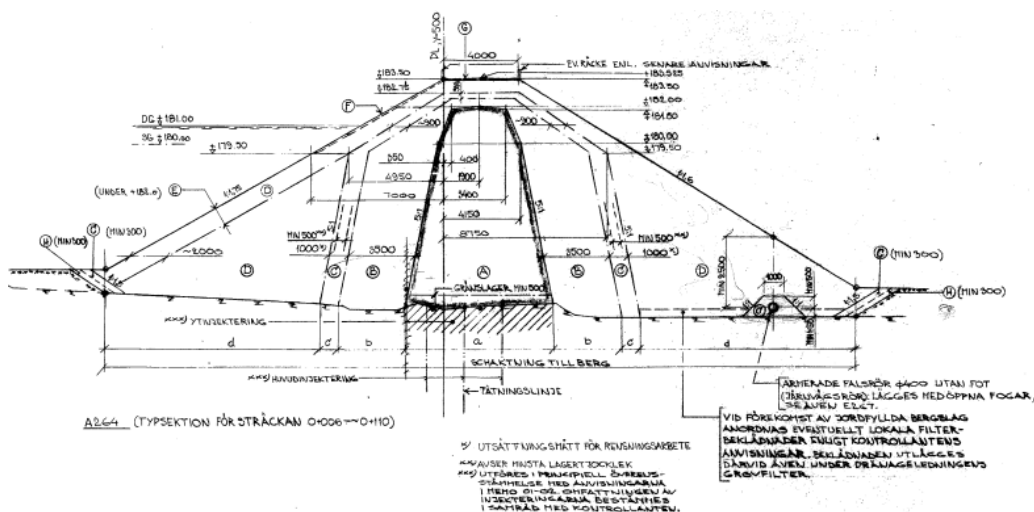
7 Exempel på reparationsinjektering

7.1 ORIENTERING

Beskrivningen gäller en dammanläggning vid ett kraftverk i en norrlandsälv. Anläggningen byggdes i slutet av 1960-talet och består av en betongdamm med anslutande fyllningsdammar. Läckage och sjunkgropar har uppstått i vid fyllningsdammarna vid flera tillfällen och reparationer och dammsäkerhetshöjande åtgärder har utförts under 1980 och 1990-talet. Föreliggande sammanfattning baseras på dessa rapporter, samt underlag för FDU-rapporter och genomförda FDU-rapporter.

7.2 GRUNDLÄGGNINGSFÖRHÅLLANDEN

Berggrunden inom området utgörs huvudsakligen av granit och porfyrisk leptit, eller granitporfyr. Dessa visar i huvudsak bra berg med enstaka slag. I delen närmast kraftstationen noterades att det ca 2 m under bergytan finns jordslag med mäktigheten 0,1 m. Slagen är delvis öppna och vid borrhning uppkom borrhvattenförlust. Trasigt, starkt vattenförande genomsläppligt berg med öppna, delvis jordfyllda sprickor förekommer nedströms höger damm.



Figur 7.2 - 1 Typsektion vänster damm

Vänster fyllningsdamm är ca 220 m lång och största höjd är ca 14 m. Dammen är en konventionell fyllningsdamm, med en central tätkärna av morän, omgiven av filter och med en stödfyllning av sprängsten. Dammen är i sin helhet grundlagd på rensad och injekterad bergyta.

Bergytan under tätkärnan har ytinjekterats i sex rader med borrhål med ett hålavstånd på 1,0 m. Därefter har en så kallad huvudinjektering utförts, bestående av tre hålrader. Hålen i den centrala raden har ett centrumavstånd på 1,0 m och sidoraderna har ett hålavstånd på 3,0 m.

Vänster fyllningsdamm har under de senaste decennierna uppvisat flera skador och reparationsåtgärder har utförts vid flera tillfällen. Under början av 1980-talet upptäcktes den första skadan. Ett ökande läckage upptäcktes som uppgick till som mest ca 700 l/min. Läckaget avtog efterhand till ca 200 l/min. Efter en tid uppkom ett sjunkhål på 2 á 3 m³ i sektion 0/020. VBB genomförde en utredning av skadan och upprättade förslag till reparation genom injektering, som sedan utfördes.

I början av 1990-talet upptäcktes en ny skada i form av ett sjunkhål i krönet, vid längdmätning i närheten av den tidigare skadan från 1980-talet. Sjunkhålet hade denna gång en volym på ca 0,5 m³. VBB fick i uppdrag att utreda skadan och att även kontrollera andra delar av vänster fyllningsdamm.

I samband med undersökningsborrning, föranledd av skadan, upptäcktes ytterligare skador i anslutning till sponten, som utgör övergång till betongkonstruktionen. Uppströms sponten bildades en ca 1 m djup krater och vid borrning nedströms spontväggen blåste spilluft upp utmed spontväggen efter 5 m borrning. Undersökningarna bestod av framschaktning av tåtkärnans krön, sonderingar, provtagningar, infiltrationsförsök och installation av vattenståndsror.

Vid tåtkärnans överyta upptäcktes en sjunkgrop och det konstaterades att tåtkärnan var skadad ner till ca 7 m djup. Vid sponten upptäcktes dessutom porösa partier och håligheter i tåtkärnan närmast bergytan. Det bedömdes att samtliga skador var orsakade av inre erosion och att denna pågått under lång tid.

7.3 REPARATIONSÅTGÄRDER – VÄNSTER DAMM

7.3.1 Inledning

Åtgärderna bestod i att injektera de skadade partierna av tåtkärnan. De mest genomsläppliga zonerna i kontaktytan fanns utmed sponten och mot den intilliggande betongmonoliten, samt vid den gamla skadan som åtgärdades 1980 (sektion 0/020).

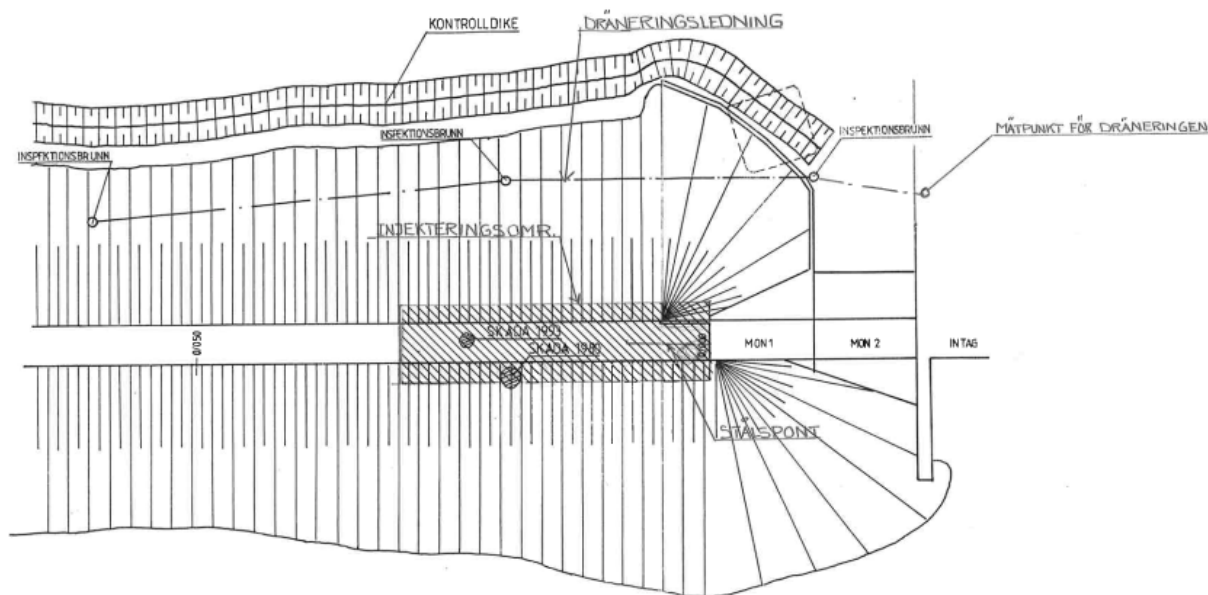
Berget under tåtkärnan visade sig vara ganska genomsläppligt, ner till en meter under bergytan inom samma partier som redovisats ovan.

7.3.2 Jordinjektering

Åtgärderna bestod i att injektera de skadade partierna i tåtkärnan. Injekteringen utfördes i 24 borrhål i två etapper. Foderrör 3,5" borrhålades ned ca 30 cm i berg. Injekterade områden visas i Figur 7.3 – 1.

I varje borrhål sattes ventilrör (3 m längder med ventilöppningar c/c 38 cm). Ventilrören sattes från 2 m under tåtkärnans krön och ned ca 30 cm i berg. Ventilrören mantelinjekterades stegvis nedifrån och upp med dubbelmanchett innan jordinjekteringen påbörjades. Mantelbruket härdade normalt ca 2 dygn före jordinjektringen startade.

Injekteringen utfördes i tre rader, A i tåtkärnans nedströmssida, B mitt i tåtkärnan och C i tåtkärnans uppströmssida.



Figur 7.3 – 1 Injekterade områden i vänster damm

7.3.3 Injektering av kontakten mellan jord och berg

Kontakten jord/berg injekterades med enkelmanschett, placerad ca 0,6 m ovanför hålbotten. Injekteringen utfördes med 1 bar och bruksåtgången var mycket stor i vissa hål. Injekteringen utfördes med samma bruk och med samma princip som jordinjekteringen.

Jordinjekteringen utfördes med ett tryck mellan manchetterna på 1,3 – 2 bar. Injekteringsåtgången var stor på nivåerna 4 - 7 m under dammkron. De hål med störst åtgång var längs spanten från monolit nr 1 och 8 m norrut.

Injekteringsmedel var en cement/bentonit blandning med V33 Melamin som tillsatsmedel. Injekteringarna inleddes med ett högt vct > 2,5 som vid en bruksåtgång över 120 l förtjockades successivt. Under injekteringen kontrollerades viskositeten med Marschkon och justering gjordes med inblandning av flytmedlet (V33 Melamin).

7.3.4 Berginjektering

Bergborrningen påbörjades efter utförd jordinjektering. Injekteringen gjordes i två etapper. I den första etappen borrades och vattenförlustmättes vartannat hål. Borrningen utfördes med diameter 47 mm och vattenspolning ned till 3 - 4,5 m djup under bergytan. Vi borrningen noterades slag, spolförluster och förekomst av ursprunglig injektering (från byggskedet).

Vattenförlustmätning med enkelmanschett utfördes direkt efter borrning. Mätningen gjordes i två etapper, med manchetten placerad ca 1 m ned i berg, respektive direkt i kontakten jord/berg. Någon hydraulisk kontakt mellan hålen kunde inte konstateras under mätningarna.

Injekteringsmedel var baserat på ultrafin cement med V33 Melamin som tillsatsmedel, vct 2,0. Vid stor åtgång på bruk och mottryck inte kunde byggas upp tillsattes stegvis mer cement. Först sänktes vct till 1,25 och därefter till 0,8. Vid ytterligare sänkning ned till vct 0,5 användes injekteringscement.

7.3.5 Kontroll av injekteringen

Kontrollhål, sammanlagt 10 st, placerades i partier där stora bruksmängder injekterats. Hålen borrades först ned till berget och provtagning utfördes, samt permeabilitetsförsök på varannan meter. I de kontrollhål som visade behov av ytterligare injektering utfördes kompletterande injektering på samma sätt som tidigare utförd. I de kontrollhål som bedömdes vara täta, sattes vattenståndsrör ned till kontakten jord/berg, för långtidsuppföljning av injekteringen.

Kontroller under injekteringsarbetet var vattenståndsmätning i tät kärnan, flödesmätning i dränage (som mättes i en brunn i stationen), samt rörelsekontroll (risk för marklyft pga. injekteringstrycket). Laboratorieanalyser utfördes på jordproverna från kontrollhålen (hål 1 - 7). Jordartsbestämning utfördes för samtliga prover och för vissa av dem utfördes siktanalys, permabilitetsbestämning och kontroll av cementförekomst.

7.3.6 Sammanfattning

Det var en relativt hög bruksåtgång i kontaktzonen jord/berg ($3,9 \text{ m}^3$). De genomsläppliga zonerna fanns utmed sponten och monolit 1, samt vid den tidigare skadan från 1980 (sektion 0/020-0/025). I två av kontrollhålen utfördes kompletterande injektering av kontaktzonen.

Tät kärnan ovanför kontaktzonen konstaterades efter injekteringen generellt sett vara tät. Inom några partier har stora bruksmängder kunnat injekteras på ett sätt som kan tolkas som att det förekommit urspolade partier, som genom injekteringen har fyllts ($23,6 \text{ m}^3$ injekterades totalt i tät kärnan). Dessa partier är främst efter sponten och monolit nr 1, samt vid sektion 0/020-0/025 i läget för den tidigare skadan. Kompletterande injektering i tät kärnan utfördes i tre av kontrollhålen.

Berget var relativt genomsläppligt ned till ca 1 m djup ($3,7 \text{ m}^3$ injekterades i berget). Djupare än 1 m ned i berget är det i princip tätt. De största mängderna i berget har även de injekterats vid sponten och monolit nr 1, samt vid sektion 0/020 – 0/025. I ett av kontrollhålen i berget utfördes kompletterande injektering.

Resultaten från undersökningarna i samband med injekteringsarbetena tyder på att materialtransporten kan ha skett från tät kärnan nedåt via sprickor i kontaktzonen jord/berg, eller genom sprickor i berget.

7.4 REPARATIONSÅTGÄRDER - HÖGER DAMM

7.4.1 Inledning

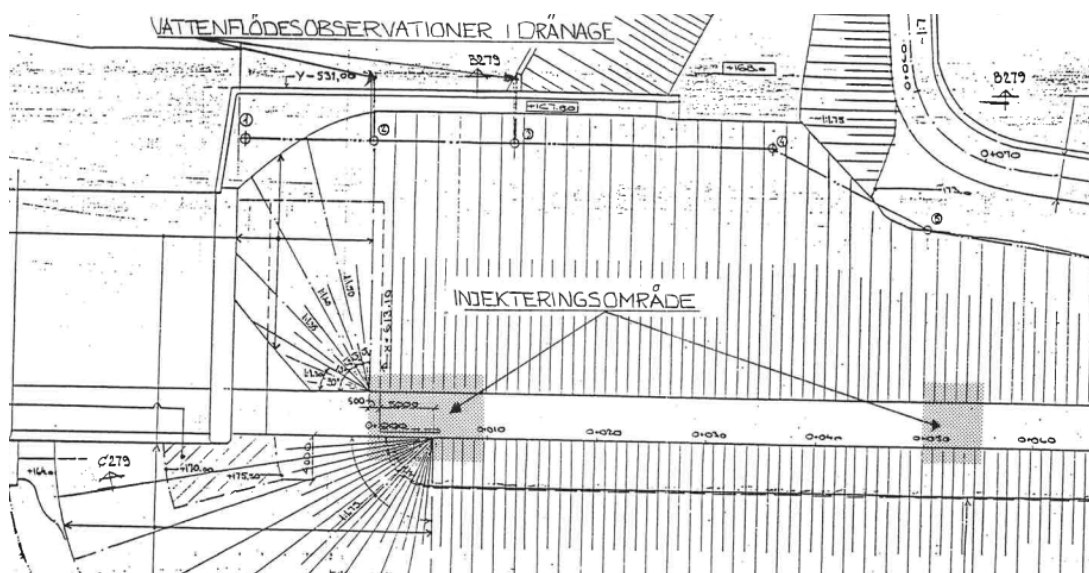
Några incidenter beträffande höger fyllningsdamm liknande de i vänster damm har inte noterats.

Efter det att sjunkhål upptäcktes i vänster fyllningsdamm i juni 1993 beslutades att låta utföra en undersökning även av höger fyllningsdamm. Vid viktsondering upptäckte man ett mycket löst parti i tät kärnan. Det lösa partiet fanns i anslutning till sponten och mellan bergytan och nivå +170. De fortsatta undersökningarna visade att tät kärnan ställvis var urspolad och starkt vattengenomsläpplig. Vattengenomsläppligheten var lika stor som i stödjorden (finfiltret). Det konstaterades att den skadade tät kärnan måste förstärkas och med hänsyn till det stora djupet, 16 m, rekommenderades injektering.

För att åtgärda de skador som upptäckts utfördes injekteringsarbeten i två avsnitt hos dammen. Detta var dels kring spanten intill betongdammen, längdmätning 0/000 – 0/010 och dels ett parti vid längdmätning 0/050 – 0/055. Injekteringen utfördes i två rader, A i tät kärnans uppströmssida och B mitt i tät kärnan.

Arbetena utfördes på motsvarande sätt som i vänster damm och resultaten visar kortfattat att den dominerande delen av injekteringen skedde i tät kärnan främst invid och uppströms om spanten. En mindre mängd injekterades i kontakten mellan tätjord och berg. Det injekterade berget under dammen visade sig vara tätt och berginjekteringen från byggtiden var av god kvalitet.

De injekterade områdena framgår av Figur 7.4 - 1.



Figur 7.4 - 1 Injekterade områden i höger damm.

7.4.2 Sammanfattning

Det var genomgående en låg bruksåtgång i kontaktzonen jord/berg invid monoliten och 9,5 m söderut. Vid skadeområdet 50 - 54 m från monoliten förekom det endast stor bruksåtgång i kontakten mellan jord och berg.

I tät kärnan inom några partier längs monoliten och ca 1 m uppströms och utmed spanten förekommer partier där stora bruksmängder kunnat injekteras, på ett sätt som kan tolkas som att jorden där varit urspölad eller packad. Vid skadeområdet ca 50 - 54 m från monoliten var det endast stor bruksåtgång i kontakten jord/berg och ca 1,5 m upp från bergytan. Berget bedöms enligt resultaten från injekteringen vara tätt.

7.5 DISKUSSION – SKADOR – SKADEUTVECKLING

Det hade innan sjunkgruparna uppstod funnits indikationer på läckage under dammen, porlande vatten, som ej samlas i dräningen, dvs. läckagevägar genom dammen och i spricksystemen i berget. Orsaken till skadorna är sannolikt läckage via slag i berget där materialtransport troligen eller huvudsakligen skett nedåt från tät kärnan via öppna sprickor och slag i berget.

Lokalt kan det uppkomma en väldigt hög gradient mellan magasinets nivå och den dränerade nivån nedströms när det finns öppna vattenförande slag i berget och mycket permeabel grundläggning nedströms. Den höga gradienten innebär att t.ex. lerfyllda slag, som i byggskedet inte kunde injekteras, med tiden eroderats så att öppna läckagevägar utbildats lokalt mot grundläggningsytan. Observera att injekterade sprickor i omgivande berg som inte utsatts för höga gradienter fortfarande kan ha en god tätande funktion.

7.5.1 Kommentarer

Från den första FDU:n framgår att vissa osäkerheter finns angående grundläggningsförhållandena, vilka fortfarande bedöms ha stor betydelse för fyllningsdamarna.

Det bedöms som troligt att läckagen och materialtransporten initierats via läckage i sprickzoner i berget, som spolats ur pga. den pådrivande hydrauliska gradienten från uppfyllningen av magasinet, som sedan utvecklats genom erosion även av tät kärnan i kontaktzonen med berget.

Den injektering som utfördes på 1990-talet, med stor bruksåtgång, är troligen relaterad till kontakter med dåligt berg. I beskrivningen av injekteringsarbetena beskrivs att berget enbart tog begränsade volymer bruk och att det mesta injekterades i tät kärnan. Det är mycket osäkert hur det verkligen blev. Injekteringen i "tät kärnan" kan mycket väl innebära att injekteringen till stor del gått ut i svaghetszoner i berget (eventuellt även ut i stödjord och sprängsten).

Injekteringsborrhålen i berg har troligen hamnat i bra berg och därmed har man inte kunnat injektera så mycket. Injektering i jord är vanligen mycket besvärligt och innebär vanligen att enbart små volymer kan injekteras. Injektering i berg och särskilt i slag och dåligt berg innebär ofta stor bruksåtgång och att injekteringsbruket sprids ut långt från injekteringsplatsen. Detta kan förklara den stora bruksåtgången.

7.6 RESULTAT – LÄCKAGE I DAGSLÄGET – INCIDENTER

Reparationen med injekteringen utfördes för mer än 20 år sedan och erfarenheterna hittills är bra. Inga nya skador har noterats.

Dammarna har sedermera förstärkts med stödbank och erosionsskydd på nedströms-sidan, så att även dammkrönets bredd ökats. Instrumenteringen har kompletterats och situationsanalyser, felmodsanalyser och åtgärdsplaner har tagits fram för identifierade felmoder (ökat läckage, materialtransport, mm.). Detta är förebyggande åtgärder för att ha en god beredskap vid eventuella förändringar i fyllningsdamarna.

7.7 GENERELLA ERFARENHETER AV REPARATIONSINJEKTERING

Injektering av undergrund har utförts i ett flertal anläggningar i Sverige, främst berginjektering, men även injektering av mer permeabla skikt i morän. I denna rapport redovisas främst jordinjektering, eftersom injektering i berg är en väl etablerad och utvecklad teknik, efter de senaste 15 - 20 årens forskning vid bl.a. KTH och Chalmers.

Injektering som generellt rekommenderad metod att täta fyllningsdammar är av flera orsaker delvis tveksam;

- Att borra vertikalt genom tät kärnan, särskilt på uppströmssidan om dess centrum, kan inte alltid rekommenderas. Det är risk att initiera läckage genom dammen via borrhålet.
- Möjligheten beror även på om tät kärnan är vertikal eller om den är lutande. I det senare fallet kan det vara svårare att injektera på uppströmssidan utan att borra igenom tät kärnan och riskera att skapa oönskade läckagevägar.
- Beroende på cementmängden blir det injekterade materialet mer eller mindre styvt och har därmed svårt att samverka med dammen i övrigt, vilket kan ge läckage på sikt i kontaktytan mellan den injekterade zonen och ostört material. Injekteringen innebär även att filterfunktionen i de injekterade områdena riskerar att bli försämrade och därmed är det en större risk för förnyade skador och materialtransport från tät kärnan. Injektering bör därför ses som en tillfällig reparationsmetod, som sedan kompletteras med andra mer permanenta åtgärder, (t.ex. förstärkning av nedströms dammtå, breddning av dammkrön, kompletterande instrumentering, färdiga åtgärdsplaner, mm).
- Jordinjektering innebär att injekteringen i sig kan initiera läckage och eventuellt skapa nya läckagevägar. Injekteringsstrycket, som riskerar att spräcka tätjorden brukar därför begränsas. Att begränsa injekteringsstrycket innebär dock att det främst är lokala håligheter som fylls. Dvs. där det redan pågått materialtransport under en tid.
- Skadorna med materialtransport initieras pga. brister i dammens täthet och filterfunktion. Även dammar som kan bedömmas uppfylla både täthetskrav och filterfunktion kan skadas allvarligt pga. läckage i kontakten med berg, om bergets övre delar är sprickrikt och öppna slag förekommer. Även om omfattande injektering utförts i bergytan i byggskedet, kan det ske en urlakning och på sikt kan läckagevägar utbildas. Samma sak gäller lerfyllda slag. Den hydrauliska gradienten via sprickor i berget är i många fall lokalt betydligt större än gradienten genom fyllningsdammen tät kärna, filter och stödfyllning, vilket innebär att kraften som kan initiera en partikelrörelse lättare kan uppstå via de öppna spricksystemen. Om inte filterfunktionen mot undergrunden är väl dokumenterad från byggskedet är det mycket svårt att bedöma sannolikheten för att skador ska kunna uppkomma.
- Beroende av hur fyllningsdammen är uppbyggd, kan det ibland vara möjligt att injektera ytberget i efterhand från borrhål genom uppströms stödfyllning och filter ned i det ytliga berget och i kontakten mellan jord och berg.
- Cementinjektering innebär att det injekterade materialet hårdnar och riskerar spricka upp och nya läckvägar uppstår. Genom att minimera cementblandningen och öka naturliga jordmaterial, bentonit, silikat, kalkfiller etc. kan en mer flexibel injekteringsmassa erhållas, som kan ta upp rörelser i dammkroppen. Ett problem är även inträngningsförmågan. Osäkerheten om vilket resultat som kan erhållas vid injektering har inneburit att man ibland inte utfört injektering. Det gäller främst vid läckage i undergrunden, där läckage inte alltid behöver innebära något dammsäkerhetsproblem.
- Det pågår produktutveckling när det gäller injekteringsmedel. Förutom utveckling för att erhålla en bättre inträngning i jord, pågår även utveckling av injekteringsmedel som behåller sin flexibilitet bättre, vilket gör att injekterade delar av tät kärnan kan samverka bättre med den omgivande dammen. Detta innebär att risker att nya läckagevägar ska uppkomma kan minska.

Ett exempel är att Diutan Gum, en biopolymer som testats som tillsatsmedel vid reparationsarbetet på Logan Martin Dam i Alabama. Diutan Gum i rätt inblandning ger en ökad inträngning och ger ett stabilt bruk. En mindre inblandning av Diutan Gum ersätter större inblandning av bentonit som tillsats (bentonit och Diutan Gum bör inte ingå i samma mix).

Erfarenheterna av jordinjektering är inte särskilt väl dokumenterade och långtidseffekten till stora delar lite känd. Några kortfattade erfarenheter sammanfattas nedan:

- Problemen vid jordinjektering vid svenska förhållanden, (dammar och grundläggning), är inträngningsförmågan, som är mycket begränsad i porsystemen (grus och sand bedöms inte vara vanliga förhållanden) och resultaten osäkra.
- Osäkerheten om resultaten vid jordinjektering har inneburit att tätskärmar i form av sekantpålar, rörspond eller slurry walls som innebär att man utför en helt eller delvis ny tätskärm (vanligen uppströms befintlig tätning), har utvecklats under senare år.

8 Exempel på dränering med sanddräner (praktikfall Storfinnforsen)

8.1 ALLMÄNT

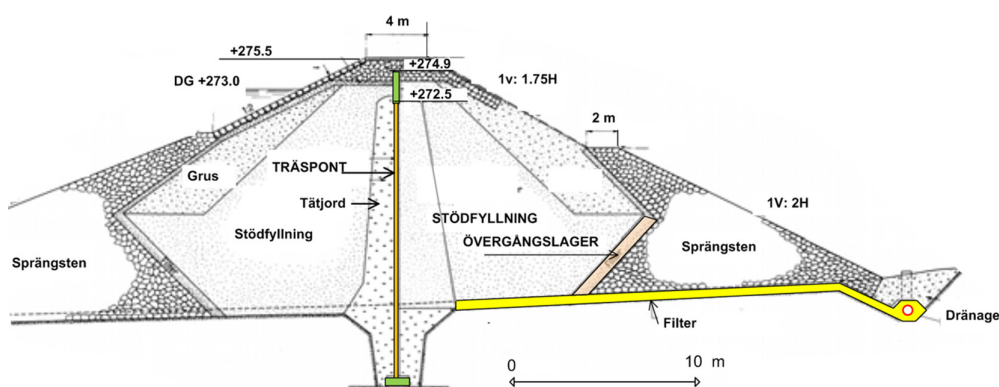
I det följande beskrivs en förstärkning av fyllningsdammen i Storfinnforsen, som försetts med vertikala sanddräner, vilka placerats tätt i en linje nedströms dammkrönet, för att få en funktion som håller nere vattentrycken i nedströms stödfyllning.

8.2 FYLLNINGSDAMMENS UPPBYGGNAD

Dammen i Storfinnforsen är utförd med en central tätzon och stödjande delar på uppströms och nedströmssidan av jord- och stenfyllning. Dammen, som är ca 20 m hög, har en tätzon av dels en träspont och dels av morän med visst lerinnehåll som ligger närmast uppströms träsponten. Dammen byggdes 1949 till 1954 och skiljer sig från flertalet dammar på 1940-talet som vanligtvis hade en central tätskärm av betong och ibland med stampad lera uppströms. Storfinnforsen skiljer sig också från dammar byggda på 60 och 70-talen, som ofta hade en central tätkärna av morän med 15 till 60 % finmaterial.

De yttre delarna av uppströms och nedströms stödfyllning består av ordnad stenfyllning. Övrig stödfyllning mellan stenfyllning och tätkärna utgörs i huvudsak av morän, men lager av sand- och grusmaterial har påträffats både i nedströms stödfyllning och i den naturliga undergrunden. Dammen saknar egentliga filter mot tätzonen. Uppströmsslänten har från krönet ned till nivån +270 lutningen 1:2 och därunder lutningen 1:2,5. Nedströmssläntens lutning är 1:1,75 ned till nivån +269,0 och därunder 1:2, se Figur 8.2 - 1.

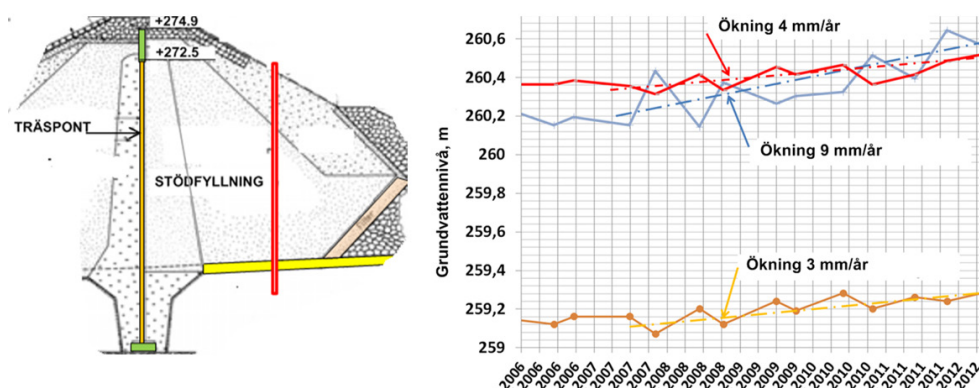
Dammens uppströmsslänt är försedd med ett erosionsskydd av ordnade block, som sträcker sig ned till nivån +270,0. Dammens nedströmsslänt är i den övre delen gräsbevuxen över en 2,5 m bred bankett på nedströmsslänten. Nedströms banketten utgörs slänten av ordnad stenfyllning av block.



Figur 8.2 – 1 Sektion genom dammen i Storfinnforsen.

8.3 DRIFTERFARENHETER

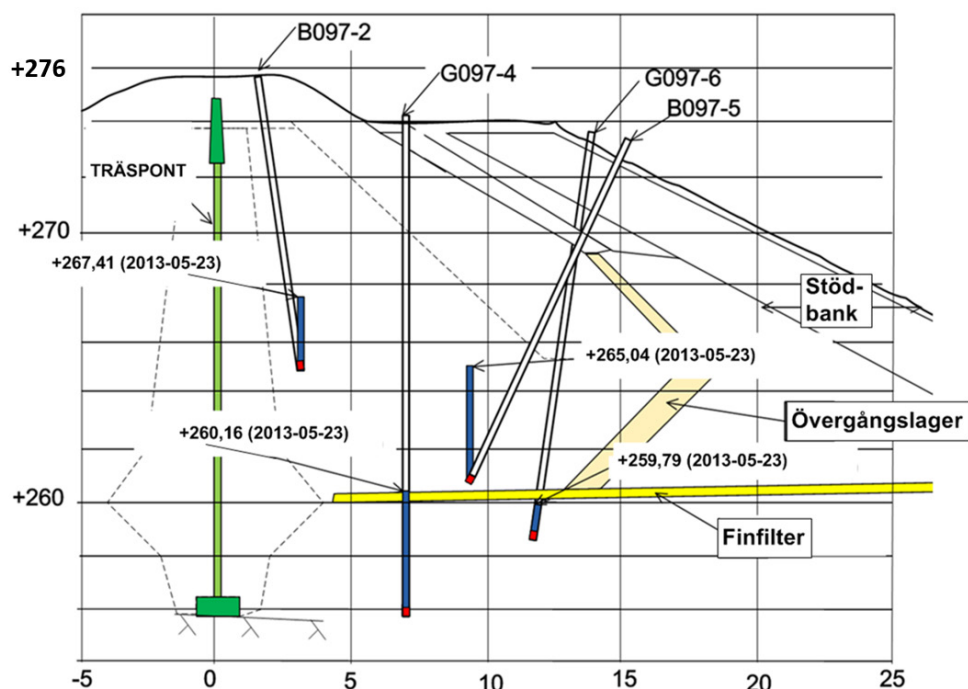
Läckagen som uppmättes i dränaget längs nedströms dammtå hade under årens lopp varit litet, endast kring ca 2 l/s. Det fanns dock vissa indikationer på att inte allt läckageflöde samlades in. I nedströms stödfyllning fanns fyra vattenståndsrör, som mätte vattenstånden i ett horisontellt filterlager av sand, som var utlagt på naturlig mark under nedströms stödfyllning. Vattentrycken i rören hade under de senaste ca 5 åren visat en svagt stigande trend, som tolkades som att träspontens funktion successivt försämrades, se Figur 8.3 - 1.



Figur 8.3 – 1 Vattenståndsrör nedförda genom det horisontella filterlagret på naturlig mark visar en svagt stigande trend.

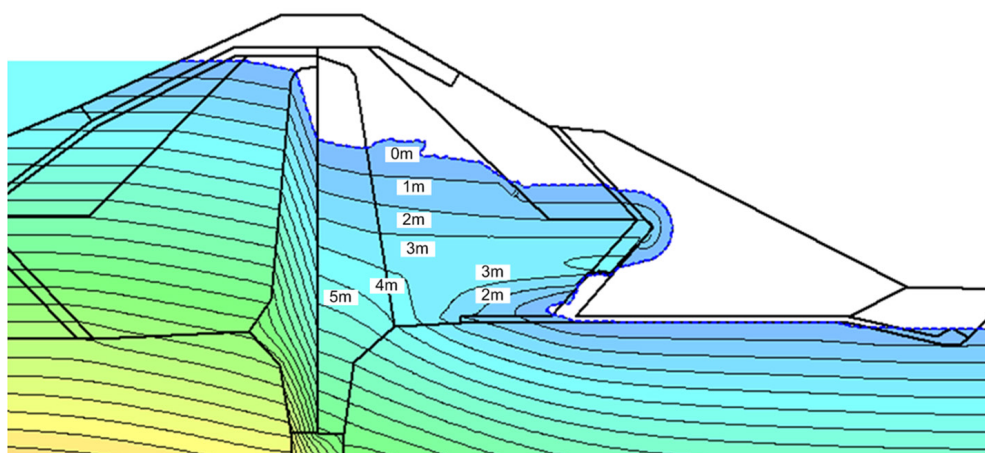
8.4 KOMPLETTERANDE INSTRUMENTERING OCH GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR

Under 2013/2014 gjordes omfattande geotekniska undersökningar och ett flertal kompletterande vattenståndsrör och porttrycksmätare installerades i undergrunden och i nedströms stödfyllning. Nedströms stödfyllning, som vid borrhningen konstaterades bestå mestadels av morän, hade inslag av dränerande lager av sand och grus. Vidare noterades att det fanns ett övergångslager av makadam mellan moränen och nedströms dammtå av grov sprängsten. Övergångslagrets gradering var för grov för att ha en tillfredsställande filterverkan mot moränen. Porttrycksmätningarna i stödfyllningen indikerade att förhöjda vattentryck fanns i området intill övergångslagret, se Figur 8.4 – 1.



Figur 8.4 – 1 Porttrycksmätare i nedströms stödfyllning visade 4 å 5 m vattentryck, medan trycket i undergrunden och horisontella filterlagret visade tryck i nivå med filterlagret.

Porttrycken i nedströms stödfyllning simulerades med programmet SEEP/w och porttrycksfördelningen framgår av Figur 8.4 - 2. Den stora indikerade skillnaden i genomsläpplighet i horisontalld i förhållande till vertikalld bedömdes vara rimlig dels på grund av de påträffade med genomsläppliga lagren i moränfyllningen, dels på grund av att dammen är uppbyggt i horisontellt packade lager, vilket normalt medför en skillnad i konduktivitet på minst en tiopotens.

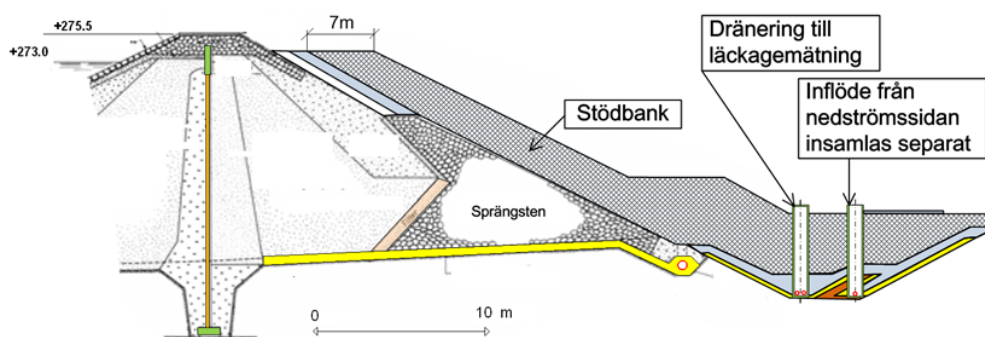


Figur 8.4 - 2 Uppmätt porttrycksfördelning simulerades med SEEP/W. Bäst överensstämmelse med uppmätta nivåer erhöles med hydrauliska konduktiviteten 100 ggr större i horisontalld än i vertikalld. Det kritiska övergångslagret i dammkroppens nedströmsdel är inte medtaget i modellen

8.5 FÖRSTÄRKNINGAR

8.5.1 Eliminera risken för ett snabbt dammbrottsförlopp

Då den befintliga dräneringen längs dammtån konstaterades ha kollapsat på ett par partier och betongrören hade långsgående sprickor, bedömdes att dräneringen hade tjänat ut och behövde förnyas. Vidare bedömdes det finnas behov av att förbättra dammens erosionsmotstånd och stabilitet med en stödbank mot nedströmsslänten. Stödbanken dimensionerades för att kunna tåla ett mycket stort läckage och även skapa en arbetsplattform för eventuella framtida åtgärder, antingen i form av en ny tätning eller möjligen dränering av nedströms stödfyllning. Ny dränering och stödbank byggdes under 2013, se Figur 8.5 - 1 och Figur 8.5 - 2.



Figur 8.5 - 1 Förstärkning med ny dränering och stödbank mot nedströmsslänten genomfördes 2013.



Figur 8.5 - 2 Dränage längs nedströms dammtå med avskiljning av från nedströmssidan inläckande vatten, som leds förbi den automatiska mätningen av läckagevattnet från dammen.

Övervakningen fortsatte efter avslutade byggåtgärder och den nya dräneringen noterades ha medfört endast en mindre sänkning av vattentrycken i det horisontella filterlagret och i undergrunden.

Målet med stödbanken var dock i huvudsak att vinna tid i slutskedet av ett eventuellt dammbrottsförlopp som initieras med inre erosion på grund av avsaknad av

nedströmsfilter och fortsätter genom bildande av en stabil erosionskanal som får kontakt med magasinet, vilket leder till ett slutligt brottförlopp. Stödbanken avsågs öka tiden som är tillgänglig för självläkning och ger dammägaren tid för åtgärder, t.ex. avsänkning av magasinet eller andra nödåtgärder om sådana skulle bedömas behövliga.

8.5.2 Åtgärder för att minska risken för initiering av inre erosion

Porttrycken i nedströms stödfyllning var efter byggandet av dränering längs dammtån relativt oförändrade och behovet av att minska risken för initiering av inre erosion fanns fortfarande kvar. Ytterligare åtgärder för att permanent sänka trycknivån utreddes. Följande tre alternativ studerades;

- Kompletterande instrumentering och utökad övervakning.
- Byggande av en ny tätning i form av slitsmurar ("diaphragm walls"), se Figur 8.5 – 3.
- Installation av en rad med vertikala sanddräner i nedströms stödfyllning för att kompensera för avsaknad av nedströmsfilter nedströms den skadade befintliga tätningen, se Figur 8.5 - 4.

För- och nackdelar för de ovan listade alternativen studerades. För att i viss mån ge en subjektiv jämförelse listas nedan ett antal faktorer som talar för och emot alternativen. Varje faktor gavs subjektivt en värdering som positiv (+) eller negativ (-), se *Tabell 8.5 – 1*. Graden av fördelar och nackdelar motsvara färgen enligt beskrivningen under tabellen. (Det måste betonas att betydelsen av de listade faktorerna varierar stort beroende på alternativet, vilket betyder att det är inte möjligt att summera antal positiva och negativa faktorerna för att få en samlad värdering av alternativen.)

Tabell 8.5 – 1 Subjektiv värdering av de tre alternativen "0-alternativ", "tätning" och "dränering".

Faktor	0-alternativ	Tätning	Dränering
Dammsäkerhetsrisk lång tid	-	+	+
Kostnader	N	-	-
Dammsäkerhetsrisk under byggnadstiden	N	-	-
Kräver tätning i övergången till befintlig betongkonstruktion	N	-	N
Kräver tätning till berg i undergrunden	N	-	N
Underhåll och övervakning	-	-	-
Kunskap hos svenska konsulter och entreprenörer	N	-	N
Risk för ökande kostnader	-	-	-

Grad av fördel/nackdel

Mycket positiv (+)	Neutral (N)	Mycket negativ (-)
Positiv (+)		Negativ (-)
Något positiv (+)		Något negativ (-)

Med ledning av värderingen förefaller "tätning" vara det mest fördelaktiga alternativet för dammsäkerheten i långtidsperspektivet, men alternativet har också flera svagheter

där kostnader är den största, men också dammsäkerhetsrisker och svårigheter i projektering/utförande kan förutses. "0-alternativet" bedöms inte vara acceptabelt eftersom dammsäkerheten på lång sikt värderas vara "negativ" eller "mycket negativ".

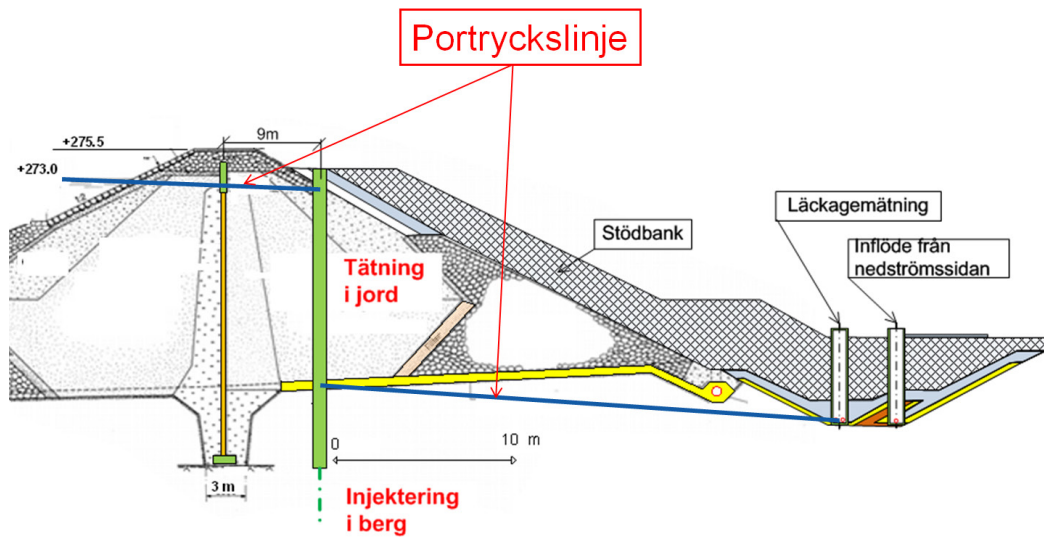
"Dränering" förefaller vara ett bra alternativ för dammsäkerheten på lång sikt, men några negativa faktorer kan förutses t.ex. underhåll och övervakning. Dränerna förväntas förhindra höga portryck i övergångslagret uppströms den ursprungliga sprängstensfyllning vid dammtån och härigenom markant minsta risken för initiering av inre erosion. Dammsäkerheten under lång tid säkerställs genom övervakning med portrycksmätare och läckagemätning, samt att förebyggande åtgärder kan utföras vid behov.

Fördelarna med "dränering" är:

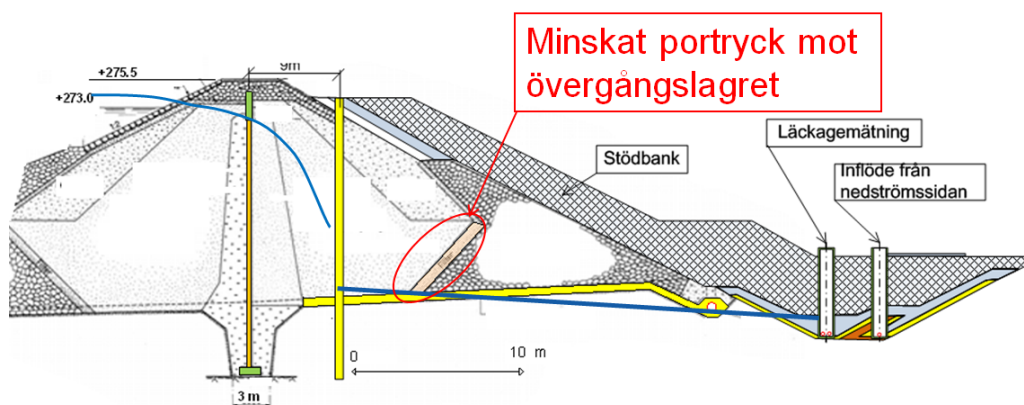
- Planering och projektering liksom antagande av att entreprenör finns i Sverige och att genomförande av entreprenaden kan genomföras relativt omgående när preliminära geotekniska undersökningar genomförts
- Kostnaden är relativt låg
- Osäkerheten i konstruktionen bedöms vara små (ingen förbindelse behövs mot den befintliga betongdammen eller mot underliggande berg)
- Övervakning kan lätt genomföras genom att mäta vattennivån i silrören och i kompletterande vattenståndsrör och portrycksmätare. Ett visst underhåll genom att infiltrera vatten bedöms vara möjligt om den dränerande effekten för dränerna skulle minska under årens lopp. Larmgränser för instrumenteringen är möjliga att fastställa i övervakningen för att förbättra framtida utvärderingar.
- Alternativet med en ny framtida tätning är inte utesluten eftersom arrangemanget med de vertikala dränerna projekteras på sådant sätt att en tätning med en slitsmur fortfarande är möjlig.

Nackdelen med "dränering" är huvudsakligen:

- Det är vid valtillfället inte klarlagt hur framgångsrik metoden kommer att vara och om det horisontella filtret och dräneringen i undergrunden är tillräckligt dränerande för att med gravitation föra bort det insamlade flödet i dränerna. En förberedande provsträcka bestämdes därför i detta skede vara nödvändig att genomförd längs en del av dammen.



Figur 8.5 – 3 Förslag till ny tätning med en diaphragm wall.

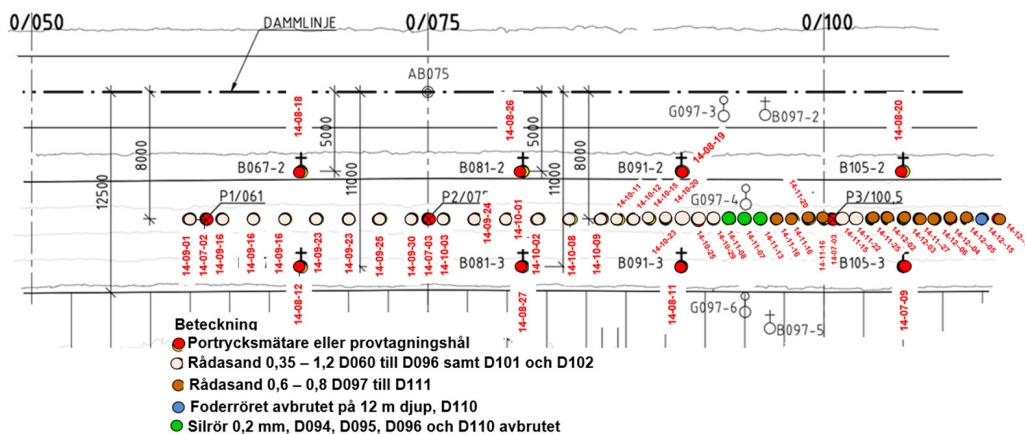


Figur 8.5 - 4 Förslag till borrade dräner med visst centrumavstånd med målet att verka i stort sätt som ett kontinuerligt vertikalt nedströmsfilter.



Figur 8.5 - 5 Dränering och stödbank mot nedströmsslänten färdigställd 2013.

Provsträckan valdes till 50 m lång, dvs. ungefär dubbla dammens höjd, för att härigenom kunna ge representativa förhållanden för en del av dammen och minska tredimensionella effekter. Avsikten med provsträckan var i första hand att få en uppfattning om hur tätt dränerna behövde borras för att åstadkomma en markant minskning av porttrycket i nedströms stödfyllning. Vidare provades olika graderingar på filtersanden och slitsvidder för silrören, se Figur 8.5 – 6.

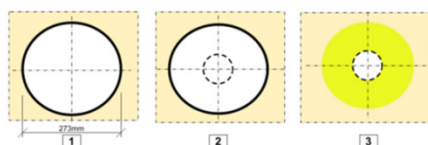


Figur 8.5 - 6 Provssträcka 50 m lång med 38 dräner dia 273 mm, borrlängd ca 780 m.

8.6 BORRMETOD, FODERRÖR, SILRÖR OCH FILTERSAND

Grundalternativet för installationen av dränerna omfattade följande:

- Filtersand: Rådasand 0,6 – 0,8 mm.
- Silrör: 0,5 mm.
- Tre foderrör med diametern 273 mm borrades ner innan uppdragning påbörjades av det mest avlägsna borraröret, för att härigenom minska risken för att borrhningen av ny drän påverkar de färdiga dränerna.
- Borrmotod av dränerna gjordes på en provsträcka med Atlas Copcos system ELEMEX med kontrollerad riktning på luftflödet.



Figur 8.6 - 1 Installationsskeden; 1. Nedborrning av foderrör dia 273 mm. 2. Installation av silrör dia 50 mm. 3. Ifyllning successivt med filtersand och återvinning av foderröret (vänster). Borrustrustning (höger).

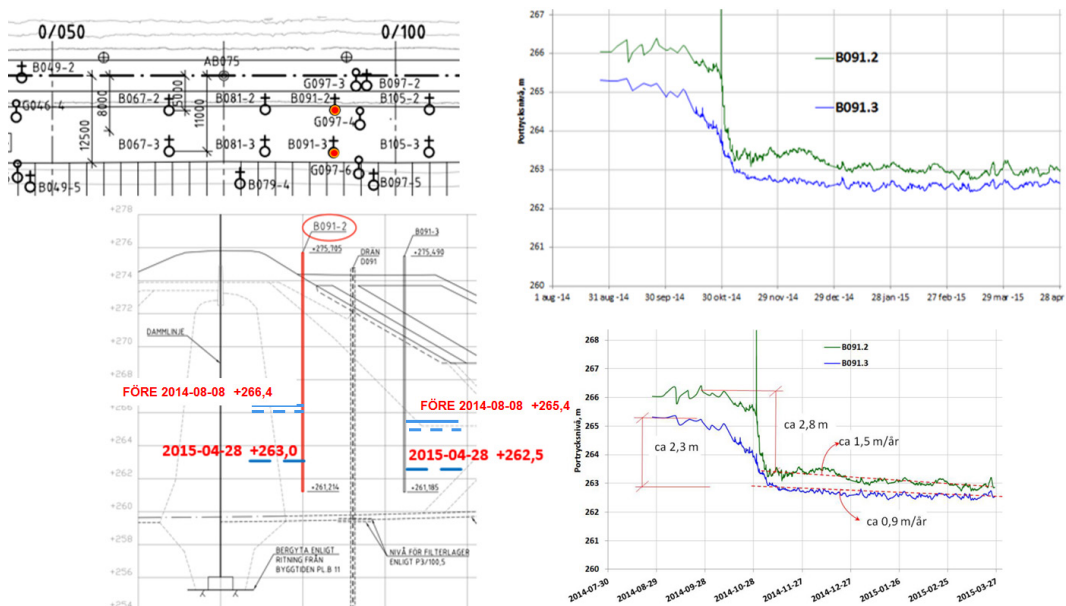


Figur 8.6 - 2 Installation av vertikala dräner(vänster) och centrering av silrör (höger).



Figur 8.6 – 3 Provsträckan färdigställd.

8.7 PORTRYCKSÄNKNING LÄNGS PROVSTRÄCKAN



Figur 8.7 – 1 Avsänkning av portrycken erhöles med 3 å 4 m vattenpelare i portryckmätare installerade 3 m nedströms linjen med dräner. Avsänkningen uppträdde snabbt, inom en vecka efter installationen, varefter viss markant mindre avsänkning fortsatte.

8.8 ERFARENHET FRÅN PROVSTRÄCKAN

Förutom ovan nämnda portryckssänkning erhöles ett flertal erfarenheter av arbetena. Olika kornfördelning provades på Rådasanden som användes i dränera. Vidare provades olika slitsvidder för silrören. Provsträckan utvärderades och resultaten bedömdes vara tillfredsställande.

Provsträckan som genomförts hade målet att undersöka effekten av dränera på de uppmätta portrycken i nedströms stödfyllning och om tillräcklig avsänkning kunde erhöles i partiet där moränen i nedströms stödfyllning gränsar till ursprunglig stenfyllning längs nedströmstån. Portrycket i givare installerade tre meter nedströms linjen för dränera har sjunkit ca 3 m vilket visar att önskad effekt uppnåts. Portrycken fortsätter efter ett havårs mätningarna att minska med låg hastighet. En viss årstidsvariation är dock som tidigare att förvänta. De fortsatta mätningarna t.ex. under perioden för snösmältningen behöver utvärderas vidare för att kunna bedöma långtidseffekten av installationen.

På båda sidor om provsträckan finns oförändrat 4 å 5 m portryck kvar i nedströms stödfyllning. För att minska risken för att portrycken i moränen ska initiera inre erosion i övergångslagret till nedströms dammtå av sprängsten, som finns i den ursprungligt byggda dammsektionen, planeras nu att vertikala dräner, på motsvarande sätt som i den genomförda provsträckan, installeras i princip längs hela dammens sträckning. Centrumavstånd har provats med både 1 m och 2 m och centrumavståndet 1 m har noterats ge något större sänkning av portrycket, även om skillnaden är liten. Vid de fortsatta arbetena planeras preliminärt centrumavståndet 1 m väljas mellan dränera.

9 Referenser

Referenser kapitel 2

- [2.2 - 1] *Erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänt, VASO, Dammsäkerhetskommitté Rapport Nr 11, 1995, K. Burstedt, R. Nilsson, S-E Paulsson.*
- [2.2 - 2] *Erosionsskydd för svenska fyllningsdammar, ELFORSK Rapport 99:22, september 1999. K. Rytters.*
- [2.2 - 3] *RIDAS Tillämpningsvägledning, avsnitt 7.2.3.5 Erosionsskydd.*
- [2.4 -1] *Assessing embankment dam filters that do not satisfy design criteria. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 5, May 2001, pp. 398-407, Foster, M.A. & Fell, R. (2001).*
- [2.4 -2] *Case studies of design of supporting downstream berms to improve leakage stability, ICOLD, Vietnam, Hanoi, May 2010. Ekström I, Nilsson, Å,*
- [2.4 -3] *Upgrading by a downstream berm to improve the defense from internal erosion, Swedish application, Presentation ICOLD Congress 2009 Brasilia. Nilsson, Å.*
- [2.4 -4] *Leakage through embankment dams - Intervention by toe-berms, German Dam Symposium and 7. ICOLD European Club Dam Symposium, September 17, 2007. Bartsch, M. and Nilsson, Å.*
- [2.4 -5] *Internal erosion in embankment dams, failure mechanism and strengthening by adding a d/s berm, International Symposium on Modern Technology of Dams, Oct. 13-18, 2007, Chengdu, China. Nilsson, Å.*
- [2.4 -6] *Alternative Measures to Improve the Resistance Against Internal Erosion - Upgrading Of The Suorva and the Porjus Rockfill Dams, ICOLD the 22nd Congress on Large Dam Barcelona, Spain, May 2006. Bartsch, M. Bono, N. Nilsson, Å. and Norstedt, U.*
- [2.5 - 1] *Anpassning av fyllningsdammar för att motstå tillfällig överdämning. Elforsk rapport 99:25, Januari 1999, Jonas Rundqvist, Dag Ygland.*
- [2.5 - 2] *Raising of the Suorva embankment dam by extending the moraine core and provide different types of insulation to frost. 76th Annual Meeting Sofia, Bulgaria, June 2-6, 2007. Nilsson, Å.*
- [2.5 - 3] *Handbok Skumglas I mark- och vägbyggnad, Information 18:1, Statens Geotekniska Institut och Luleå Tekniska Universitet, 2007.*
- [2.5 - 4] *Raising of Ajaure embankment dam by extending the moraine core with a geomembrane, ICOLD European Symposium 2004, Canterbury, Great Britain, Nilsson, Å, Ekström, I.*
- [2.6 - 1] *RIDAS 2012 Tillämpningsvägledning kapitel 7*

Referenser kapitel 3

- [3.1 - 1] *ICOLD Bulletin on Cutoffs and Dams, Preprint 150.*
- [3.1 - 2] *Donald A. Bruce (2013): Specialty Construction Techniques for Dam and Levee Remediation*
- [3.1 - 3] *Design Standard No. 13, Embankment Dams, Chapter 16: Cutoff Walls, Face 4 Final, July 2014, Reclamation, Management Water in the Wewsr,*
- [3.4 - 1] *Ruukki RD Pålvägg, 2011.*
- [3.4 - 2] *Ruukki stålrörspålar - Anvisningar för projektering och installation – EUROKOD, 2013*
- [3.6 - 1] *Hirioshi Yoshida. Recent Developments in Jet Grouting. Proceedings of the 4th International Conference on Grouting and Deep Mixing, 2012, p 1548.*
- [3.6 - 2] *Stille, H. Gustafson, G. Hassler L. Application of New Theories and Technology for Grouting of Dams and Foundations on Rock. Geotech Geol Eng. 2012, 30:603–624.*
- [3.7 - 1] *<http://www.bacsol.co.uk/bachy-soletanches-new-trenchmix-technique-in-midlands-flood-relief/>*
<http://www.mastenbroek.com/products/deep-trenching/>
- [3.7 - 2] *Bruce DA et.al. 2012, Composit Cut-Off Walls for Existing Damms: Theory and Practice. Proceedings of the 4th International Conference on Grouting and Deep Mixing, 2012, p 1248).*
- [3.7 - 3] *Mathieu, F. et al, 2012. Dyke rehabilitation with a Trencher: Recent applications in Europe. Proceedings of the 4th International Conference on Grouting and Deep Mixing, 2012,p 1345.*
- [3.7 - 4] *Schauer D.A. et al. Installation of Seepage Cutoff Wall at the Herbert Hoover Dike using the Cutter Soil Mixing Method. Proceedings of the 4th International Conference on Grouting and Deep Mixing, 2012, p 1214.*
- [3.7 - 5] *Bruce D.A. et.al. Composit Cut-Off Walls for existing Dams: Theory and Practice. Proceedings of the 4th International Conference on Grouting and Deep Mixing, 2012, p 1248.*
- [3.7 - 6] *Wiedenmann, U. Hoegg, M, Mixed-In-Place And Cutter-Soil-Mixing Methods Applied On Dams And Dikes, Collaborative Management of Integrated Watersheds. 2010, p 841-856.*

Referenser kapitel 4

- [4.2 - 1] *Kjellberg R, Norstedt U and Fagerström H (1985): Leakage in and reconstruction of the Juktan earth and rockfill dams. ICOLD, Lausanne, Volume 4, p 553 – 572.*
- [4.2 - 2] *Finnhammar P, Säfsström T, "Performance of a cement-bentonite slurry cut-off wall – applied on the Öresund tunnel project", examensarbete 96/17, avdelning för Jord- och Bergmekanik, Inst. för Anläggning och Miljö, KTH, Stockholm 1996.*

- [4.3 – 1] *Dokumentation och undersökning av skador i Lövödammen, Ericsson och Jender 1998, ISSN 1402-1617, LTU 1998:335.*
- [4.3 – 2] *Övervakning av tät kärnan funktion genom analys av resistivitet mätningar, VASO rapport nr 24, 1995, Sam Johansson, Leif Dahlin.*
- [4.3 – 3] *Fibre-optic system for temperatur measurements at Lövön Dam, Elforsk rapport 99:36, 1999, Sam Johansson, Mohamoud Farhadirousham.*
- [4.4 – 1] *Slurr Doe, G. and Jefferis, S. (1996b) "Draft Notes for Guidance for Slurry Trench Cut-off Walls (as Barriers to Pollution Migration)," commissioned by Ground Board of the Institution of Civil Engineers in conjunction with Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) and Building Research Establishment (BRE), dated 13 April, 43 pp.*
- [4.4 – 2] *Construction of the Plastic Concrete Cut-off at Hinze Dam. Steve O'Brien (URS) Christopher Dann (URS), Gavan Hunter (URS), Mike Schwermer. (BAUER Foundation Australia, Brisbane. ANCOLD Proceedings of Technical Groups 2005).*
<http://bauerdamcontractors.com/export/sites/www.bauerdamrehabilitation.com/en/documents/publications/Cutoff-Wall-Paper-09-ANCOLD-Conference---Final.pdf>
- [4.4 – 3] *Innovative solution to foundation piping risk at Hinze Dam, Gavan Hunter (URS Principal Geotechnical Engineer), Chris Chamberlain (URS, Associate, Engineering Geologist) and Mark Foster (URS Principal Dam Engineer). ANCOLD Proceedings of Technical Groups 2005.*
- [4.4 – 4] *Personlig korrespondans med Gavan Hunter, Principal Geotechnical Engineer, Melbourne Office URS Australia Pty Ltd, Gavan_Hunter@URSCorp.com.*

Referenser kapitel 7

- [7.8 - 1] *Espinal Todd, S. Sprayberry, S. Observation and Testing of Diutan Gum in Grout Mixes. Proceedings of the 4th International Conference on Grouting and Deep Mixing, 2012, p 1672.*

REPARATIONSMETODER FÖR FYLLNINGSDAMMAR

Frågor om dammsäkerhet uppmärksammas allt mer i Sverige. Kraftindustrin utvecklade heltäckande riktlinjer för dammsäkerhet 1997 och omfattande insatser därefter gjorts för uppgradering av befintliga dammanläggningar.

Här beskrivs vanliga typer av dammsäkerhetshöjande åtgärder som genomförts för svenska fyllningsdammar. Rapporten innehåller en genomgång av vanliga typer av dammsäkerhetshöjande åtgärder och beskriver metoder för att uppgradera dammens tätande funktion och olika för- och nackdelar diskuteras.

Syftet med rapporten är att sammanställa och sprida erfarenheter om reparationsmetoder för fyllningsdammar, men också att peka på fortsatta utvecklingsbehov inom området.

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