

ELFORSK



DAMMSÄKERHET

**Reserapport, Bennett Dam, BC Hydro, Canada
- Teknikbevakning av injekteringsarbeten.**

Rapport 99:37

Reserapport, Bennett Dam, BC Hydro, Canada

- Teknikbevakning av injekteringsarbeten.

Elforsk rapport 99:37

Pär Hansson

Förord

BC Hydros W.A.C. Bennett damm i British Columbia, Kanada, är en 183 m hög och ca 2000 m lång jorrdamm som dämmer upp en ca 30 mil lång sjö med en regleringsvolym av 70 miljarder m³ vatten.

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

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

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

Stockholm i december 1999

Elforsk AB

Sammanfattning

Två sjunkgropar uppstod under juni respektive september 1996 i BC Hydros W.A.C. Bennett dam i British Columbia, Canada.

Dammen är av typen jordfyllnadsdamm med central tätkärna av morän. Höjden är 185 meter. Dammen är byggd i en djupfåra i berget varför underlaget sluttar kraftigt ungefär vid tredjedelspunkterna i längsled. Vid dessa punkter har under byggnadstiden förlängningsrör för fixpunkter ("benchmark tubes") installerats. Det är runt dessa rör sjunkgroparna har uppstått. En av flera tänkbara orsaker till att sjunkgroparna uppstått är att tätkärnematerialet runt rören inte packats tillräckligt under byggandet.

Inför åtgärdandet av sjunkgroparna har de tillgängliga metoderna för injektering gått igenom och utvärderats. Den metod som framstod som mest lämplig var kompaktinjektering. Denna metod går ut på att genom nedborrade injekteringsrör pumpa in en styv injekteringsmassa under relativt högt tryck i jorden varvid man tillför nytt jordmaterial och packar den omkringliggande jorden. Denna metod har inte tidigare använts för reparation av fyllningsdammar, ej heller har kompaktinjektering utförts på så stora djup som det här är fråga om.

Arbetena har fränsett några mindre malörer gått bra och reparationerna bedöms ha fått avsedd effekt vilket betyder att området kring sjunkgroparna har bringats till en högre packningsgrad, varvid de mekaniska egenskaperna närmast sig de ursprungliga.

Innehållsförteckning

1	ALLMÄNT	3
2	SKADEBILD	4
3	REPARATIONSINSATSER.....	5
3.1	FÖRBEREDELSE.....	5
3.2	KOMPAKTINJEKTERING	6
3.3	PERMEATIONSINJEKTERING	11
4	SAMMANFATTNING	13
5	REFERENSER.....	14

1 Allmänt

VASO dammkommitté har inlett ett forskningssamarbete med BC Hydro inom området tillståndsbedömning och reparation av fyllningsdammar. Samarbetet innebär inte någon korsvis finansiering av forskningsprojekt utan bygger på ömsesidigt informationsutbyte från pågående projekt hos respektive part.

Exempel på projekt som VASO delger BC Hydro information från är:

- Inventering av svenska dammar med sjunkgropar.
- Modellförsök med injektering av fyllningsdammar.

Redovisad resa genomfördes mellan den 17:e och den 25:e april 1997. Syftet med resan var att på plats följa reparationsarbetena och de storskaliga dräneringstesterna som genomförts, delta vid ett möte med BC Hydros "Technical Review Group", TRG, samt utbyta information.

Resrutten var enligt följande:

17/4	Stockholm - Vancouver via Amsterdam
18/4	Vancouver - Fort S:t John med flyg
18/4	Fort S:t John - Hudson's Hope - Bennett Dam med hyrbil
22/4	Hudson's Hope - Vancouver med charterplan
24-25/4	Vancouver - Stockholm via Amsterdam

Mellan fredagen den 18:e och tisdagen den 22:a var ett digert program inplanerat med mestadels sittningar i konferenslokalen men även två platsbesök. Den 23:e hölls ett möte på BC Hydros kontor i Vancouver för att avrunda besöket.

Deltagare från Sverige var förutom undertecknad Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen och Sam Johansson, Hydro Research + KTH. Vår ciceron från BC Hydro var Al Imrie som förutom att han är ordförande i TRG även var med vid byggandet av dammen på 60-talet.



Figur 1. W.A.C. Bennett dam och Williston Lake. BC Hydro WWW-server.
W.A.C. Bennett dam and Williston Lake. BC Hydro WWW-server.

2 Skadebild

Två sjunkgropar har uppträtt ungefär vid tredjedelspunkterna av det 2 km långa dammkrönet. Sjunkgroparna har bildats runt rör som använts för att flytta upp fixpunkter under byggnadsskedet, s.k. "benchmark tubes". Dessa består av Ø 6 cm rör inuti foderrör med diametern 15 cm. En teori är att tät kärnan inte blivit tillräckligt packad runt dessa rör och vartefter fuktkvoten i jordmaterialet höjts har jordmaterialet satt sig ("wetting settlement") och till slut har skadan uppenbarat sig som sjunkhål på krönet.

Det går dock inte att utesluta andra skadeorsaker eller en kombination av orsaker. Bland det som kan bidra till bildande av sjunkgropar på dessa ställen är det faktum att bergytan är brant under sjunkgroparna vilket betyder att jordmaterialet är dåligt spänningssatt och därmed att sättningar kan uppträda.

Sjunkgrop 1 uppträdde juni -96 på dammkrönet vid den södra tredjedelspunkten och den löst lagrade jordmassan antas sträcka sig ned till bergytan vilken befinner sig ca 120 m under krönet. Sjunkgrop 2 uppträdde september -96 strax uppströms om dammkrönet vid den södra tredjedelspunkten och den löst lagrade jordmassan antas sträcka sig ned till bergytan vilken befinner sig ca 75 m under den punkt på fribordet där skadan går i dagen.

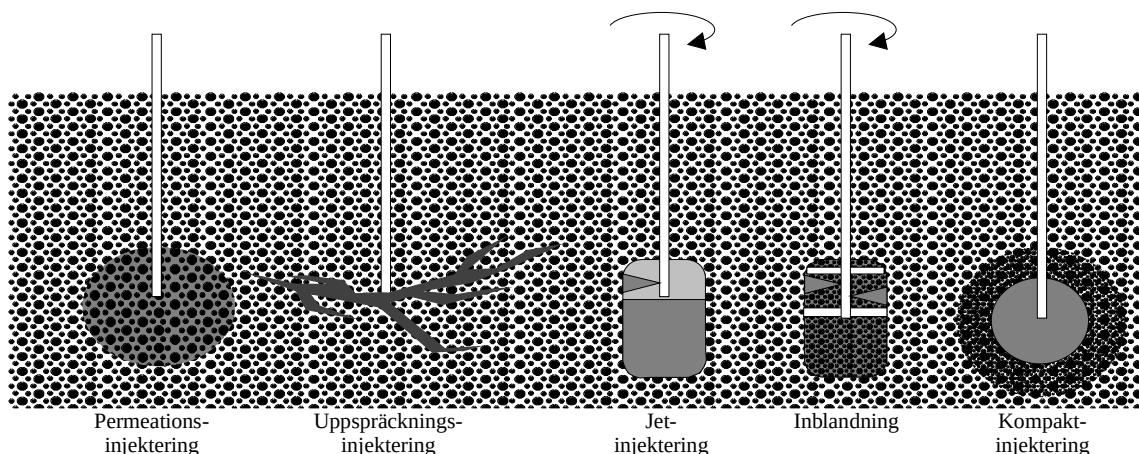
3 Reparationsinsatser

3.1 Förberedelser

Inför reparationsarbetena gick man igenom de tillgängliga reparationsmetoderna och utvärderade dessa. Det stod tidigt klart att någon form av injektering skulle användas. Injektering kan dock i sin tur delas in i olika, i vissa fall väsensskilda, discipliner:

- Permeationsinjektering, eller "vanlig" injektering, där befintliga porer och kanaler fylls med en flytande massa som sedan hårdnar eller gelar. Metoden förutsätter att tillräckligt stora kanaler och porer finns för att tillåta inträngning av injekteringsbruk inom rimlig tid.
- Spräckningsinjektering, även känt som "svärdhugg", där i princip samma utrustning som ovan används, men där trycket är högre och bruket i allmänhet är styvare. På detta sätt åstadkoms en uppspräckning av jordmassan och slutresultatet blir relativt väl definierade sprickplan och kanaler med hållfast, impermeabelt hårdnat injekteringsbruk, även en viss kompaktering av jordmaterialet kan åstadkommas i vissa fall.
- Jet-injektering, där rör med munstycken eller dysor i nedre änden borrar ned i jorden. Injekteringen utförs genom att cementbruk, i vissa fall med finkornig ballast, pumpas ut under högt tryck medan borrarstången roteras och dras upp. Spolningen med cementbruk kan kombineras med spolning med vatten eller luft. Det bortspolade jordmaterialet evakueras vid markytan. Metoden leder till stor materialåtgång och stort spill. Slutresultatet är pelare med relativt hög hållfasthet, dessa pelare kan fås att överlappa om syftet är att skapa en tät vägg i jorden.
- Inblandning (eng. "deep soil mixing" eller "mix in place"), där cementpasta eller bruk pumpas ned i jorden medan blandningen rörs om på plats med roterande vingar.
- Kompaktinjektering. Beskrivs nedan.

Principen för metoderna visas i *figur 2*.



Figur 2. Injekteringsmetoder.

Pressure grouting methods.

Gemensamt för alla metoder utom kompaktinjektering är att de i allmänhet ändrar jordens mekaniska egenskaper i hög grad. Det går att kompaktinjektera på sådant sätt att tåtkärnan i stort sett återställs till sin ursprungliga funktion. Detta är huvudskälet till varför kompaktinjektering valdes för reparation av Bennett-dammen.

När metoden var vald genomförde man fullskaletester i jordmaterial liknande det som tåtkärnan består av men med låg packningsgrad. Dessa tester genomfördes i närheten av Vancouver. Testerna bekräftade att metoden passade för BC Hydros syften.

3.2 Kompaktinjektering

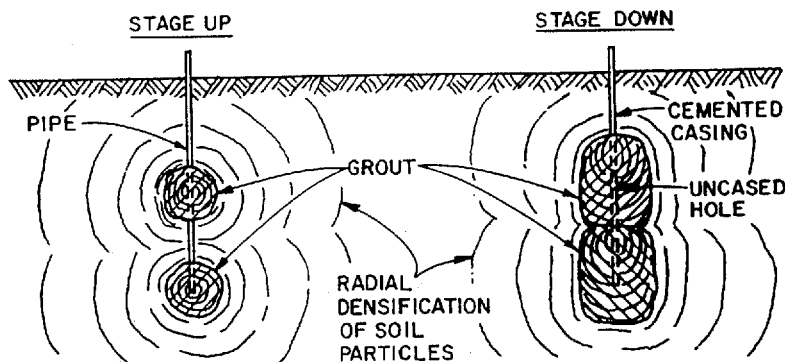
3.2.1 Metodik och utrustning

Kompaktinjektering går ut på att tränga undan och kompaktera löst lagrad jord genom att rör borrar ner i jorden och under tryck pumpas en trögflytande injekteringsmassa ut. Man strävar således efter att hålla injekteringsmassan och det ursprungliga jordmaterialet åtskilda längs en väl definierad, expanderande gränsyta. Detta till skillnad från "vanlig" injektering eller permeationsinjektering där man strävar efter att injekteringsmedlet ska tränga in i, och fylla upp, porer och kanaler i jordmaterialet utan att i nämnvärd omfattning flytta de enskilda jordpartiklarna.

Vilken utrustning som används beror givetvis på yttre omständigheter som jordens initiella lagringstäthet och på vilket djup man injekterar. Injekteringarna på Bennett-dammen är unika på flera sätt, kompaktinjektering har inte tidigare utförts på så stora djup, inte heller har metoden provats i en fyllningsdamm.

Arbetsgången vid Bennett-dammen avviker från gängse metodik då man först borrar ned till fullt djup och injekterar i steg om 30-60 cm nedifrån och upp. Vanligen injekterar man i nedåtgående steg när det gäller att kompaktera löst lagrade jordar, se fig. 3. Anledningen till skillnaden är att man vid normal kompaktinjektering önskar att gradvis

förstärka ovanliggande jordlager för att i det längsta undvika hävning av markytan (om inte detta är en eftersträvd effekt, t.ex. vid kompensation av sättningar under byggnader), vilket är ett tecken på att jorden inte kompakteras mer vid fortsatt injektering. Dränering av eventuellt överskottsvatten är sällan något problem i dessa fall.



Figur 3. Olika principer för kompaktinjektering. Graf E.D., 1992.

Different principles of compaction grouting. Graf E.D., 1992.

Injekteringen vid Bennett-dammen försiggår på mycket stora djup vilket gör att man inte behöver fästa något avseende vid risken att evakueras injekteringsstrycket uppåt och därigenom försämrar kompakteringseffekten radiellt. Vidare måste man säkerställa dränerade förhållanden vid injekteringspunkten. Detta medför att man vill behålla den löst lagrade strukturen ovanför injekteringspunkten för att på så sätt ombesörja dränering uppåt. Ytterligare en faktor som talar för injektering nedifrån och upp är kostnaderna. Om injektering i nedåtgående steg tillämpades, skulle borrhånsinsatsen öka dramatiskt då man vid varje nivå skulle tvingas att på nytt borra igenom det redan injekterade partiet. Detta får normalt inte de konsekvenser det skulle få vid Bennett-dammen då djupen normalt är måttliga (10-20 m) och antalet nivåer få.

Vid Bennett-dammen borrar man först ned ett foderrör med 150 mm diameter och en godstjocklek om ungefär en centimeter. De kraftiga dimensionerna behövs bl.a. för att reducera borrhålsavvikelserna vilka uppges ligga under 1% av hållängden. Borrhålsavvikelserna mäts med inklinometrar. Därefter borrar foderröret ur och jordmaterialet transporteras till ytan med luft eller skum (jag är lite osäker här, men luft är troligast), en jordplugg på ett antal dm sparas. Inuti foderröret sätts slutligen ett Ø 75 mm injekteringsrör på plats med en tätning mellan foderrör och injekteringsrör varvid foderröret dras upp förbi jordpluggen.

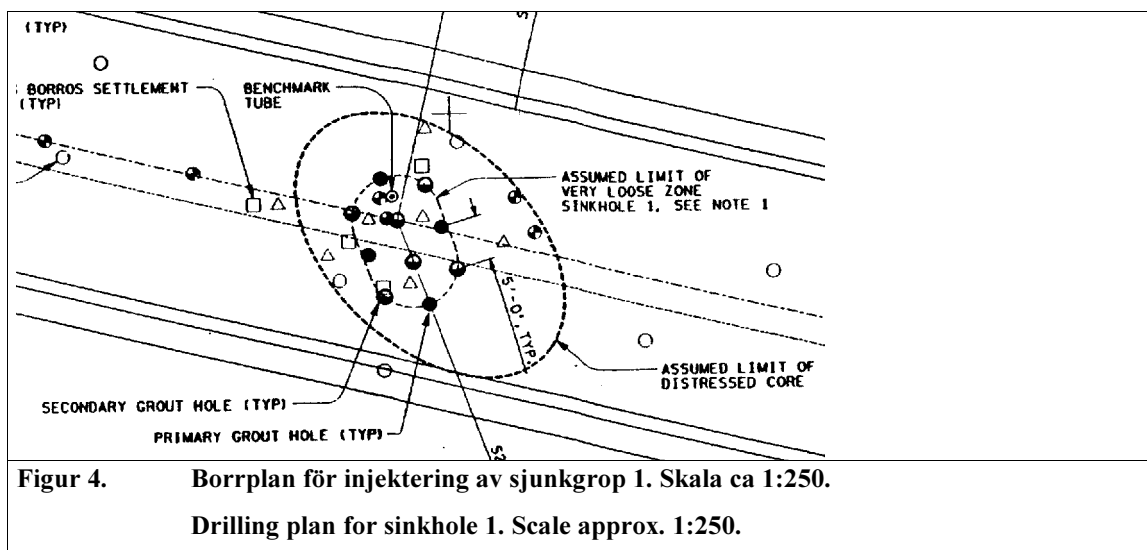
I detta läge kan injekteringen startas upp genom att en tvättsvamp trycks framför injekteringsmassan medan kvarstående luft och vatten i injekteringsröret evakueras genom en öppning i tätningen mellan foderrör och injekteringsrör. Syftet med tvättsvampen är att injekteringsmassan under utfyllning av injektering ska ha en väl definierad front och inte rasa ned i injekteringsröret. Exakta detaljer över detta arrangemang saknas för närvarande. När svampen tryckts förbi mynnningen kan injekteringen fortgå i etapper uppåt varvid man under rotation drar upp hela paketet med foderrör och injekteringsrör.

I sjunkgrop 1 avbryts kompaktinjekteringen ca 15 m under dammkrönet vilket motsvarar ca 10 m under tätkärnans överkant. Detta ytliga parti avses permeationsinjekteras, se nedan. Sjunkgrop 2 är belägen något uppströms om krönet vilket betyder att den går i dagen genom stödfyllning och erosionsskydd. Här avslutas kompaktinjekteringen strax under tätkärnans yta vilket är ungefär detsamma som 30 m under ytan.

Injekteringstrycket vid övre rörmynningen, kragen, är ca 7 MPa detta tryck reduceras vid injektering närmare ytan. Flödet är begränsat till max 7 liter/minut, man diskuterade att eventuellt fördubbla maxflödet. De pumpar man använde var enligt uppgift vanliga betongpumpar, jag antar dock att de är modifierade på något sätt för att klara de höga trycken, de låga flödena och injekteringsmassans styva konsistens.

Vid varje injekteringsnivå förelåg en begränsning i injekterad mängd om max 4 kubikfot per längdfot vilket motsvarar en radiell utbredning om ca 35 cm. Man diskuterade att höja denna begränsning till 7-10 kubikfot per längdfot ($r = 45-55$ cm) eller att slopa den helt och att endast begränsa trycket enligt ovan. Detta rekommenderade även "Technical Review Group", TRG, dock fastställde man inte vilket av alternativen som skulle genomföras.

En ökning av den injekterade mängden antogs kunna bidra till att antalet borrhål kunde reduceras från ursprungligen ca 10 stycken ned till kanske 6 stycken genom att slopa de flesta av de sekundära borrhålen, se fig. 4, vilket skulle ge stora besparingar.



Principen för borrplanen är att först borra och injektera relativt glest sittande primärhål i utkanten av den förmodade mycket lösa zonen. Nästa steg är att slå sekundärhål mitt i zonen och i randen mellan primärhålen. Man har även diskuterat att slå primärhål mitt i zonen för att sedan arbeta sig utåt, denna idé avslogs dock av "Advisory Board" av okänd anledning.

Under borrning och injektering registreras ett antal parametrar, vid borrningen registreras t.ex. matningstryck och vridmoment, under injektering registreras injekteringstryck, flöde och injekteringspunktens läge. Denna registrering tillgodoser platsorganisationen med data för styrning av injekteringen, t.ex. visar ett ökat flöde under konstant tryck på att hydraulisk spräckning skett, vilket inte inträffat, eller kan man se på tryckuppbyggnaden om dränerade förhållanden råder. Vidare har dessa data behandlats i efterhand och presenterats som "specifik energi" för varje hålavsnitt. Man tycker sig kunna översätta detta värde till ett index för en sammanfattande "jordkvalitet" avseende packningsgrad och permeabilitet. Denna specifika energi-betraktelse förväntas kunna tjäna som beslutsunderlag för den fortsatta injekteringen, t.ex. huruvida sekundärhålen ska reduceras i antal.

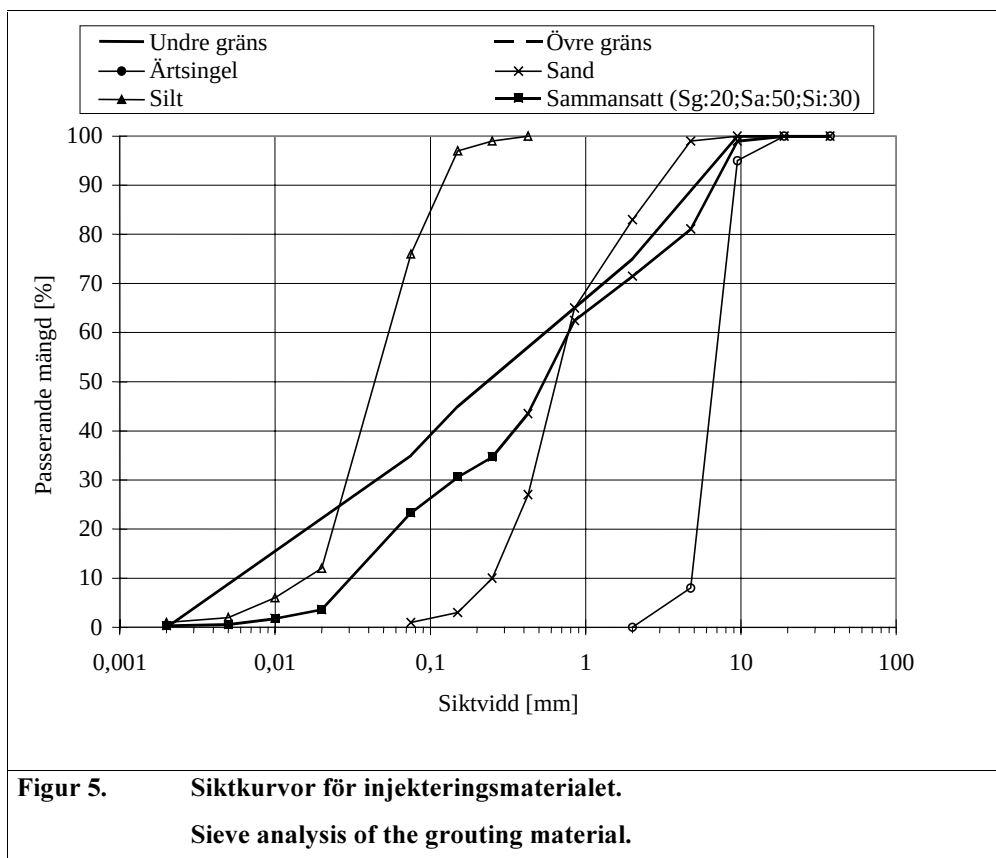
Ett antal problem har uppstått, men arbetena bedöms i stort ha gått bra. Vid ett tillfälle bröts foderröret av. Detta förmodades bero på en snedbelastning från injekteringstrycket. Man var dock inte helt säkra på denna förklaring då det även spekulerades i att foderröret utsatts för orimliga torsionsbelastningar genom att entreprenören svetsat spiraler längst ned på röret. Syftet med detta skulle vara att ha möjlighet att "skruva" sig upp om röret fastnat.

BC Hydro pekar på vikten att ha en kompetent och beslutsam entreprenör på plats vid denna typ av arbeten. Det är mycket viktigt att de mätresultat som löpande tas fram tolkas på rätt sätt och att utförandet anpassas till den erfarenhet detta ger.

3.2.2 Material

Det material som används verkar stämma tämligen väl överens med gängse praxis enligt Warner, 1982, 1992. Detta är föga förvånande då författaren är BC Hydros konsult i kompaktinjekteringsfrågor. Det som avviker från det allra vanligaste materialvalet i detta fall är att man i detta fall inte använder någon cementtillsats, det är annars vanligt att tillsätta ca 12% cement, vilket ger en tryckhållfasthet hos det hårdnade bruket om 3-4 MPa.

I detta fall är injekteringsmaterialet, förutom vatten, sammansatt av tre graderingar jordmaterial; ärtsingel, sand och silt. Typiska siktanalyser för delmaterialen presenteras i **figur 5**. I samma figur är även kravkurvor och en sammansatt siktkurva utritade. Den sammansatta kurvan är beräknad från delmaterialens siktkurvor för att ligga innanför kravkurvorna. Denna beräkning ger följande ungefärliga proportioner mellan delmaterialen i viktprocent; 20% ärtsingel, 50% sand och 30% silt.



Denna sammansättning ger en finjordshalt (<0.06 mm) om ca 20% medan den tillåts variera mellan ca 15% och 33% inom kraven. Motsvarande betraktelse för d_{10} (kornstorlek vid 10% passerande mängd) ger att det sammansatta materialet har $d_{10} = 0.03$ mm medan kraven tillåter en variation mellan 0.006 och 0.04 mm.

Den stora toleransen i d_{10} är märklig då variationer hos denna parameter har stort inflytande på jordmaterialets permeabilitet. I Vattenfall, 1988 anges överslagsvärden för permeabilitetskoefficienten, k , som funktion av d_{10} . En ökning av d_{10} från 0.006 mm till 0.04 mm skulle enligt dessa överslagsvärden ge en ökning av k från ca $5 \cdot 10^{-8}$ m/s till ca 10^{-5} m/s. Permeabiliteten hos det ingående jordmaterialet torde vara en viktig parameter då den avgör huruvida vattnet pressas ut ur injekteringsmassan. Om avvattning sker, ökar risken för hydraulisk spräckning av den jordmassa som avses förstärkas.

Vattenhalten i injekteringsmassan är inte förutbestämd, vatten tillsätts till en önskad konsistens som mäts med sättmått enligt ASTM C 143, vilket motsvaras av SS 13 71 21. Detta är det vanliga sättmått som brukar användas för att mäta konsistensen hos färsk betongmassa. Även de ställda konsistenskraven motsvarar gängse praxis med ett sättmått om ca 25 mm. Detta motsvarar plastisk konsistens vid mätning på betongmassa. Man angav att ca 10% vatten tillsattes för att erhålla denna konsistens.

Anledningen till injekteringsmassans styva konsistens är att man på detta sätt minimerar risken för hydraulisk spräckning. Man har även ett extra skydd mot detta genom

massans innehåll av ärtsingel. En alltför lättflytande och finkornig massa skulle kunna penetrera en begynnande uppspräckning och sprickan skulle propagera utan kontroll.

Injekteringsmaterialets siktkurva uppges stämma väl överens med graderingen i tätkärnematerialet.

Inga tillsatsmedel eller -material tillsätts injekteringsmassan. Detta diskuteras över huvud taget inte i den litteratur som studerats. Ett tänkbart behov på detta område är en tillsats som skyddar injekteringsmassan från avvattning, detta i form av t.ex. cellulosa eller silikastoft. Eventuellt kan sådana tillsatser ge samma nackdelar som lera i injekteringsmassan. Man rekommenderar allmänt ett lerinnehåll mindre än 1% för att undvika en alltför lättflytande massa med påföljande risk för hydraulisk spräckning.

Mätmetoder diskuteras översiktligt i Warner et al., 1992. Man koncentrerar sig dock på mätning av flytegenskaper. På detta område torde en del kunskaper kunna tas tillvara från betongteknologin vilket gjorts endast i begränsad omfattning. Det verkar som om man nöjer sig med att använda sättmättet även om man är medveten om att detta ger begränsad information om injekteringsmassans lämplighet.

Utöver konsistensen borde benägenheten till avvattning hos injekteringsmassan vara av betydelse. För att utvärdera denna parameter finns standardiserad utrustning inom petroleumindustrin. Denna utrustning är ursprungligen framtagen för att mäta avvattning av borrhlor/slam.

3.3 Permeationsinjektering

I sjunkgrop 1 avses tätkärnans övre 10-15 meter injekteras på konventionellt sätt, d.v.s. med ett injekteringsbruk som tränger in i jordmaterialets porer, eller "permeationsinjektering" fritt översatt. Den ursprungligen synliga delen av sjunkgropen har fyllts igen med ett finmaterialfattigt ($d_{10} = 0.5$ mm) och stenigt material för att stabilisera slänterna. Det är detta material som avses injekteras. Partiet ligger i huvudsak ovanför vattenytan.

Man hade diskuterat injekteringsmedel baserade på cement, bentonit eller vattenglas.

Cement har en nackdel i att det hårdnade bruket får egenskaper väsentligt avvikande från jordmaterialet. I synnerhet i så ytligt belägna partier som det här är fråga om kan man förvänta sig att en mycket styv kropp bildas som döljer eventuella sättningar i underliggande lager.

Bentonitens nackdel är dess begränsade inträngningsförmåga, jag ifrågasatte om man kunde räkna med någon större utfyllnad av porerna med detta material. I synnerhet om bentoniten torkar kan den även få en starkt bindande effekt.

De vattenglasbaserade bruk som finns tillgängliga i dag är inte stabila, inte ens i ett tidsperspektiv om ca en månad. Dessa preparat är benägna att lösa upp sig själva och

endast lämna en liten del fast material kvar. Därför kan man ifrågasätta om det är värt besväret att använda denna typ av medel. Jag föreslog att man i så fall skulle prova ut ett recept med hög silikathalt (man späder i allmänhet vattenglas/silikat kraftigt) och en lång giltid. Om denna princip följs kan man förmodligen räkna med en beständighet om några år.

Ytterligare ett förslag som jag presenterade väckte visst intresse, nämligen att injektera en suspension av inert material med liknande kornstorleksfördelning som mikrocement. Exempel på sådana material är finsilt eller finmald kalksten. En sådan suspension skulle under injektering filtreras ur och sedimentera så att en relativt tät struktur kunde åstadkommas, förutsatt att överskottsvatten dräneras naturligt eller med speciella dräneringshål. Vidare skulle man kunna räkna med en bättre inträngningsförmåga än med bentonit.

Genom ett enkelt försök vid vårt laboratorium visade sig packningsgraden hos sedimenterat material kunna regleras med hjälp av flytmedel som används till betong och injekteringsbruk. Detta till den grad att man kunde få en viss tixotrop bindning mellan partiklarna och en mycket hög packningsgrad.

Ovan nämnda försök genomfördes genom att blanda och dispergera lika viktandelar finmald dolomitkalksten (Myanit 0-30) och 2% flytmedel (Cementa V33) med avseende på kalkvikten. Denna suspension hölls med hjälp av en tratt nedstucken i tre punkter ner i en 1 m lång, 1 dm hög och 1 dm bred ränna fylld med sand ($d_{10} = 0.5$ mm). Efter två dagar grävdes kalken fram i närvaro av BC Hydro. Kalkstenen hade sedimenterat till en mycket kompakt lagring i stort sett motsvarande den som åstadkoms vid mekanisk packning av välgraderad jord. Detta var överraskande, med den täta lagningen kan förmodligen tillskrivas den relativt höga doseringen flytmedel. Den vibration försöksupställningen blev utsatt för under transport har sannolikt inte inverkat i nämnvärd omfattning.

Det tätpackade materialet var tixotropt, d.v.s. när man deformerade materialet uppvisade det en plastisk konsistens. Detta fenomen belägger teorin om flytmedlets inverkan. Detta antyder att man med hjälp av flytmedel kan reglera det injekterade materialets egenskaper med avseende på packningsgrad och mekaniska egenskaper.

Ovanstående "stickspår" väckte som nämnts intresse hos BC Hydro, i dagsläget är det dock oklart vilket beslut som fattats.

4 Sammanfattning

Kompaktinjektering, som är en ny metod i dessa sammanhang, har visat sig fungera bra för att åtgärda sjunkgroparna i tätkärnan. Detta åtminstone vad avser responsen från de mätningar som utförts. Metoden bedöms möjlig att använda på svenska dammar med ett möjligt hinder, nämligen storleken. Det minsta djup under markytan på vilket en kompaktinjektering kan utföras är ca fem meter vilket medför att metoden endast är tillämpbar på relativt stora dammar. I Svenska Kraftverksföreningen, 1981, kan ett 70-tal fyllningsdammarna med en höjd av 20 meter eller mer räknas upp. Detta betyder att det finns ett relativt stort bestånd av dammar där man eventuellt kan tillämpa kompaktinjektering.

Metoden ställer stora krav på utförarens kompetens och på att relativt omfattande mätningar och löpande uppföljningar genomförs.

En viss utvecklingspotential verkar föreligga, i första hand vad avser mätmetoder och karakterisering av injekteringsmaterialet. Detta skulle i sin tur möjliggöra utarbetande av mer ändamålsenliga riktlinjer och specifikationer för injekteringsmaterialen. I dag används endast sättmått och siktanalys för karakterisering. Egenskaper som kan vara viktiga att mäta förutom konsistens enligt sättmått och siktkurva är det fasta materialets permeabilitet, injekteringsmassans avvattningsskapacitet (dessa två egenskaper kan vara starkt kopplade) och ett mer nyanserat konsistensmått.

5 Referenser

Graf E.D., Compaction Grout, 1992. Conference paper "Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics". ASCE. ISBN 0-87262-865-5. pp 275-287. New York 1992.

Vattenfall. Jord- och stenfyllningsdammar. ISBN 91-7186-271-4. p 31. Stockholm 1988.

Warner J., Compaction grouting - the first thirty years. Conference paper "Grouting In Geotechnical Engineering". ASCE. ISBN 0-87262-295-9. pp 694-707. New York 1982.

Warner J., Recent advances in compaction grouting technology. Conference paper "Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics". ASCE. ISBN 0-87262-865-5. pp 252-264. New York 1992.

Warner J., Schmidt N, Reed J, Shepardson D, Lamb R, Wong S. Compaction grout: Rheology vs. Effectiveness. Conference paper "Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics". ASCE. ISBN 0-87262-865-5. pp 252-264. New York 1992.

Svenska Kraftverksföreningen, (The Swedish Power Association). Hydro Power in Sweden. ISBN 91-7186-064-9. Stockholm 1981.



ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se