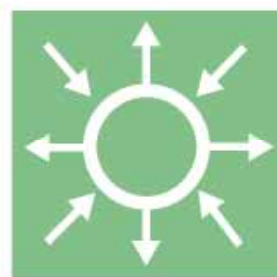
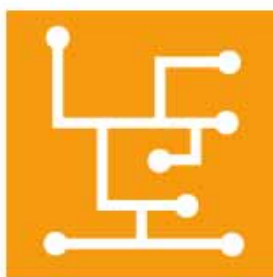


Uppföljning av injekteringsarbeten

Kanalmur, Älvkarleby

Elforsk rapport 07:67



Per-Erik Thorsell

December 2007

ELFORSK

Uppföljning av injekteringsarbeten

Kanalmur, Älvkarleby

Elforsk rapport 07:67

Förord

Än så länge är det relativt ovanligt att injektera betongkonstruktioner. Med tanke på att det finns många gamla betongkonstruktioner, exempelvis broar och vattenkraftkonstruktioner där cement har börjat urlaka, finns all anledning att tro att metoden blir vanligare inom en inte alltför avlägsen framtid.

Jag vill också speciellt tacka Sven-Erik Johansson på NIBU-borr för de mycket intressanta och lärorika diskussionerna samt för hjälpen med materialdata mm.

Svenska vattenkraftföretag har sedan 1995 finansierat betongtekniskt utvecklingsarbete inriktat mot vattenkraftföretagens behov.

Syftet med den verksamhet som bedrivs är att stå för ett kvalificerat stöd till vattenkraftföretagen i de byggfrågor som faller under hela den tekniska förvaltningskedjan. Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov, bl.a. genom ett koppla resultat till RIDAS med tillämpningsanvisningar. Målet är också att utifrån industriperspektiv bygga kompetens på olika håll i samhället där så behövs. En viktig del är att medverka till att det kommer fram studenter, tekniska licentiater och doktorer som har genomfört arbeten inom områden som ligger nära branschens intressen.

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp med följande ledamöter:

Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft
Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige
Jan Liif, Statkraft AS
Erik Nordström, Vattenfall Vattenkraft
Karin Persson, Fortum
Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen
Lars Hammar, Elforsk

Stockholm december 2007

Lars Hammar
Elforsk AB

Sammanfattning

För att säkerställa stabiliteten av vänster kanalmur i Älvkarleby installerades 1991 spännstag. Vid kontroll av spännkrafterna år 2002 upptäcktes att ett antal av dessa stag hade brustit.

Vid borrning i muren för att ersätta de brustna stagen med nya spännkablar upptäckte man att även betongen, åtminstone bitvis, var i väldigt dåligt skick. Under år 2004 startade man att injektera muren. Muren består utav 23 monoliter på vardera ca 9 meters längd. Förutom att tätta muren i allmänhet och höja hållfastheten så var även syftet att skydda de nya kablarna mot korrosion. Injekteringsarbetena har pågått från vår till höst under tre år. Totalt har man injekterat ca 33 ton cement vilket motsvarar ca 37m³ bruk i muren.

Från en bitvis urlakad betong så är nu muren i betydligt bättre skick. Då muren blir utsatt för relativt låga belastningar så har murens säkerhet aldrig varit ifrågasatt.

Att samla in uppgifter från tidigare och kommande injekteringsarbeten inom kraftbranschen kan vara en betydelsefull fortsättning på detta projekt. Exempel på uppgifter som skulle kunna finnas i en databas är materialval, ekonomisk ersättningsprincip, utrustning, injekteringstryck, borrplaner, provningsresultat och injekteringsresultat.

Summary

In order to ensure the stability of the left channel wall in Älvkarleby, post-tensioned anchors were installed in 1991. When the tensional forces were measured in 2002, it was discovered that a number of these anchors had broken.

During drilling in the wall to replace the broken anchors with new tendons, it was also discovered that the concrete, at least in parts, was in very poor condition. In 2004, grouting of the wall began. The wall consists of 23 monoliths, each roughly 9 metres long. In addition to sealing the wall in general and increasing the strength, the purpose was also to protect the new tendons against corrosion. The grouting works have been performed from spring to autumn over a period of three years. In total, approximately 33 tonnes of cement have been injected, which is equivalent to approximately 37m³ of mortar in the wall.

From a state of partially leached concrete, the wall is now in much better condition. As the wall is exposed to relatively low loads, the safety of the wall has never been in question.

Gathering information from earlier and future grouting works within the power industry can be a valuable continuation of this project. Examples of information that could be included in a database are choice of materials, principles of financial remuneration, equipment, grouting pressure, drilling patterns, test results and grouting results.

Innehåll

1	Inledning	1
2	Syfte	2
3	Anläggningsbeskrivning	3
3.1	Allmänt	3
3.2	Renovering/ombyggnation 1990	4
4	Betong	6
4.1	Kärnkartering	6
5	Injektering	9
5.1	Inledning & syfte	9
5.2	Stabilitet	9
5.3	Förstudie	10
5.4	Borrning	10
5.5	Spolning	11
5.6	Vattenförlustmätning	12
5.7	Injekteringsutförandet	12
5.8	Utrustning	14
5.8.1	Blandare	14
5.8.2	Omrörare	16
5.8.3	Pump	16
5.8.4	Manschett	16
5.9	Material	17
5.9.1	Cement	17
5.9.2	Vatten	18
5.9.3	Tillsatsmedel	19
5.9.4	Vct	19
5.9.5	Beständighet	19
5.10	Provning & kontroll	20
5.10.1	Förprovning	20
5.10.2	Fortlöpande kontroll	21
5.10.3	Efterkontroll	21
5.10.4	Dokumentering	22
6	Tidigare injekteringsarbeten	23
7	Miljöaspekter	24
8	Ekonomi	25
9	Resultat	26
10	Referenser	29

1 Inledning

För att säkerställa stabiliteten av vänster kanalmur i Älvkarleby installerades 1991 spännstål. Vid kontroll av spännkrafterna år 2002 upptäcktes att ett antal av dessa stag hade brustit. Vid borrning för att installera nya spännkablar upptäcktes att betongen var i mindre bra skick.

De två alternativ som stod tillbuds var att riva och bygga ny mur eller att föryngra muren genom injektering. Att bygga nytt blir kostsamt, varför det är av största vikt att dagens anläggningar underhålls på ett sådant sätt att de kan fungera under så lång tid som möjligt.

Genom att injektera muren fick man en tätare mur med en högre hållfasthet. Genom en tätare mur fick man även ett något bättre korrosionsskydd för de nyinstallerade spännkablarna.

Injekteringsarbetena påbörjades 2004 och avslutades under hösten 2006.

Denna rapport är ett sätt att återkoppla genomförda reparationer för att kunna dra lärdom av sådant som har fungerat bra och sådant som kan förbättras.

2 Syfte

Syftet med projektet är att göra en uppföljning och dokumentera problemställningen, utförandet och resultatet av injekteringsarbeten som utförts på kanalmuren i Älvkarleby. Att i framtiden känna till hur man injekterat muren är till stor nytta för framtida arbeten.

Problemlösning under arbetets gång kan även vara till stor nytta på liknande konstruktioner på andra anläggningar.

En utvärdering av den injekteringsteknik som används har skett för att se om den är tillräckligt effektiv. En effektiv blandare kan göra att man får ett injekteringsbruk med goda inträngningsegenskaper. Detta kan medge möjligheten att reducera antalet injekteringshål, vilket medför en signifikant kostnadsbesparing i antal bormeter.

Genom diskussion mellan bl.a. Vattenfall, NIBU och CEMENTA försökte man dra lärdom från andra typer av injekteringar i framförallt berg.

3 Anläggningsbeskrivning

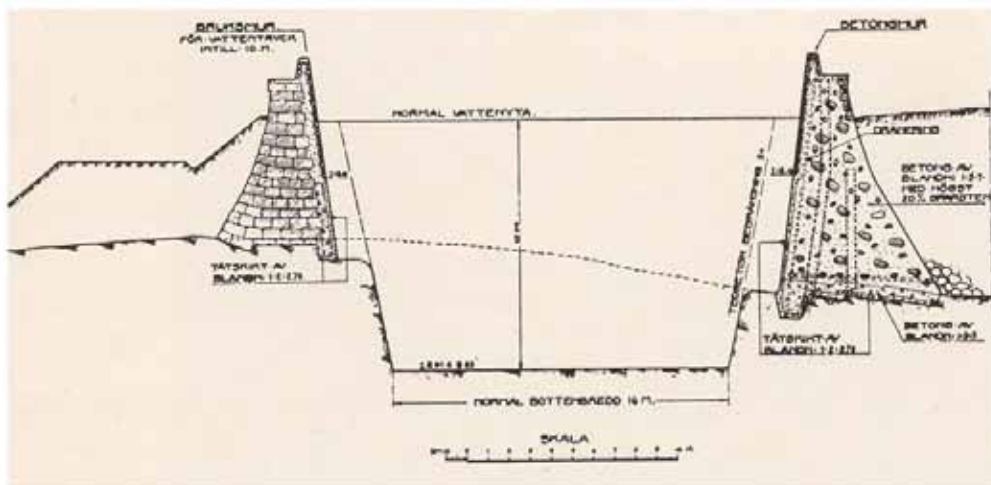
3.1 Allmänt

Kraftverket med tillhörande dammar byggdes i början av seklet och stod som svenska statens tredje kraftverk färdigt 1915 [1].

Tilloppskanalen, se figur 3.1, är ca 200 meter lång i ungefärlig nordlig riktning. Kanalen är nedsprängd i berget och är ovan detta på båda sidor försedd med på berget ställda sidomurar, se figur 3.2.



Figur 3.1 Inloppskanalen med vänster kanalmur och det nya aggregatet G6 till höger i bild.



Figur 3.2 Tvärsektion av inloppskanalens ursprungliga utseende

Murarna varierar i höjd från ca 3 meter upp till ca 16 meter. Murarna är utförda i betong eller som blockmurar, d.v.s. sprängsten lagda i bruk. Det senare slaget har använts, då arbetstiden medgav, dock inte vid större murhöjder än 10 meter. Betongmurarna är utförda i monoliter om 9 meter med dilatationsfogar (rörelsefogar) mellan för att förhindra temperatur och krympsprickor. Dilatationsfogarna bestod av dubbla falsar, vilka klätts med dubbla lager av asfaltduk och mot vattensidan utökades klädningen av fogarna med tjärdrev och asfalt.

Berget i kanalbotten och dess sidor var i allmänhet av god beskaffenhet. Vid utförande av muren lades ett ca 15 cm tjockt betonglager på berget med blandningen 1 cement: 2 sand: 2,5 stenflis för att få en god tätning. Sprängstensblocken bestod av $\frac{1}{4}$ till $\frac{1}{2}$ m³ storlek. Betongen i muren som stampades på plats istället för att vibreras hade sammansättningen 1:5:7 och innehöll maximalt 20 % sparsten. Där det ansågs finnas behov lades rör av lera in som dränering. När murarna var färdiga låg deras krön på nivå + 24,0 m ö h.

Arbetet med tillloppskanalen påbörjades i december 1911 och blev i huvudsak färdig under november 1914. Vattnet släpptes på 1 maj, 1915. Som kuriosum kan nämnas att totalkostnad för tillloppskanalen var 399 kkr.

Under tiden från idrifttagningen fram till ombyggnaden i slutet på 80-talet har naturligtvis visst underhåll av anläggningen skett vilket dock inte redovisas i denna rapport.

3.2 Renovering/ombyggnation 1990

I slutet av 1980-talet renoverades större delar av anläggningen och ett nytt aggregat, G6 installerades. Samtliga dämmande konstruktioner förutom vänster kanalmur bedömdes vara i dåligt skick och byttes ut. Ett ytterligare motiv till renoveringen kan ha varit att öka avbördningskapaciteten eller byta uttjänta luckor. Den vänstra kanalmuren bedömdes i stället kunna förstärkas på olika sätt. Muren närmast kraftstationen var i dåligt skick och byggdes om

helt. I monoliten intill, borrades ett antal provhål där man kunde se att betongen hade en godtagbar kondition. Man nöjde sig därför med att bygga om endast en sektion. Hela murens krön höjdes genom en pågjutning på 600 mm, dels för att högre drivvattenföring med det sjätte aggregatet ger högre frånslagsvåg, dels för att man härigenom åstadkom en mycket bra betong under förankringarna till spännstålen, där trycket lokalt är högt. Kraftverksbyggnadens vattenvägar injekterades och byggnaden försågs med ett stort betongblock för stabilitetens skull och inloppskanalen breddades.

För att klara högre belastningar beslöts att öka murens stabilitet mot glidning och stjälpning genom att spänna ner muren mot berggrunden med 78 stycken spännstag. Avstånden mellan stagen varierade mellan 2,7 och 3,4 meter. På murens insida mot vattnet gjordes en pågjutning med 30 cm tjock betong. Pågjutningen förankrades i den befintliga muren och bergförankringar borrades ner i berget.

Älvkarlebyprojektet utfördes inledningsvis på plats av Vattenfalls byggavdelning. Under byggtiden bildades ett dotterföretag av Vattenfall AB och Kraftbyggarna Anläggningsteknik AB, som ett led i en omlokalisering och entreprenaden blev på så sätt delad mellan dem. Borrning och injektering av ledmuren, montage av spännstagen mm lämnades som underentreprenad till NCC Bygg AB i Gävle, som i sin tur anlidade NIBU Borr AB i Gävle för arbetet, därvid ingick rimligen även de större betongarbetena på muren som monoliten närmast kraftstationen och pågjutningen i entreprenaden till NCC Bygg AB, men det har inte funnits anledning att utreda detta för denna rapport. Konstruktör var AIB Anläggningsteknik, som senare uppgått i J&W och numera ingår i WSP. Kontroll av arbetena utfördes med hänsyn till tidpunkten sannolikt av Kraftbyggarna Byggnadsteknik AB/HydroPower AB (nu mera VPC) som var dotterbolag till Vattenfall AB.



Figur 3.3 Exempel på fuktigt parti på murens utsida

4 Betong

4.1 Kärnkartering

Ett antal kärnor borrades ut från konstruktionen för att bestämma kvalitén på murens betong. Hålen för dessa borrades i anslutning till de stag som brustit och där de nya kablarna senare skulle installeras. Kärnorna som borrades ut här hade en diameter på Ø 102 mm. För att kontrollera murens skick även för de områden där inga stag brustit borrades ett kontrollhål vars betongkärnas diameter var Ø 38 mm per monolit längs murens hela sträckning. Alla hål borrades vertikalt genom muren och ca 5 meter ner i berg. Resultat från kärnkarteringen skulle ligga till grund för fortsatta åtgärder av muren, bl.a. injekteringen.

Betongens kvalitet bestämdes till en av sex klasser, se tabell 4.1, där klass 1 är den bästa betongen helt fri från porer och dylikt [2]. Klass 6 betecknar betong som inte håller samman utan består av stenar och bitar, se figur 4.1. Betong som inte är vattentät är som bäst av klass 4. Förutom betongens kvalitetsklassning noteras beskaftenheter hos betongen såsom sparsten, kärnförlust, kalkurlakning, gammalt injekteringsbruk, sprickor och armeringsjärn, se tabell 4.2.

Tabell 4.1 Förklaring till de olika kvalitetsklasserna som används vid klassificering av betongkvalitén hos betongkärnor. Borrkärna genom sparsten har klass 1 och kärnförlust klass 6.

KLASS	BESKRIVNING
1	Bra betong. Den är homogen och fri från håligheter och porer.
2	Bra betong. Den är relativt homogen och fri från håligheter. Det förekommer en del enstaka porer. Betongen är inte alldeles slät.
3	Medelgod betong. Det finns tätt med grunda porer. Porerna har ingen förbindelse med varandra. Det förekommer en del håligheter. Material saknas i ytan mellan de större stenarna i betongen.
4	Mindre god betong. Det finns ofta spår efter läckage av vatten. Många porer har förbindelse med varandra och bildar porsystem. Större håligheter förekommer.
5	Dålig och mycket otät betong. Stora sammanhängande porsystem och djupa håligheter förekommer.
6	Usel betong. Den håller knappt ihop. Ofta består kärnan av betongbitar.

Tabell 4.2 Förklaring till de egenskaper som bör iakttas vid utvärderingen av betongkärna.

EGENSKAPER	BESKRIVNING
Sparsten	Sparsten är stora stenar som använts för att spara betong. Gränsen för vad som kan anses vara sparsten bör gå vid >64mm.
Kärnförlust	Kärnförlust är den eller de delar av borrhölet som har gått förlorat vid borrhölet. Om partier med slam och grus påträffas så finns det risk för att materialet spolats bort med spolvattnet.
Brunfärg	Förekomsten av bruna missfärgningar kan betyda att betongen är otät. En brun missfärgning uppkommer när humusrikt vatten transporteras genom konstruktionen.
Kalkurlakning	Urlakning har sin orsak i att relativt löslig kalciumhydroxid som ingår i hårdnad cementpasta löses upp av vatten som strömmar förbi eller genom en otät pasta varvid ett underskott av kalciumhydroxid uppstår. Urlakningen medför att kalk fälls ut på betongen.
Armeringsjärn	All förekomst av armering bör noteras (dimension och djup).
Förekomst av injekteringsbruk	Betong från äldre konstruktioner kan innehålla rester från tidigare injekteringar. Det förekommer att injekteringsbruk färgas för att enklare se spridningen på ett injekteringsbruk.
Sprickförekomst	Sprickbildning (speciellt grova) är ett varningstecken på att något kanske inte står rätt till med konstruktionen.

Förutom den okulära utvärderingen av betongkärnan kan laboratorie- och fältmätningar användas för att komplettera bilden av betongens tillstånd. Vanligt använda metoder är att bestämma densitet, tryckhållfasthet, vattentäthet och frostbeständighet. Fältundersökningar som kan göras är bland annat vattenförlustmätning och videofilmning av borrhålets väggar.



Figur 4.1 Exempel på betong av klass 6

Vad man kan utläsa av karteringen är att betongens kvalitet var riktigt dålig i området runt de brustna stagen 23, 24, 25 och 28 (monolitnummer 5 och 6). Här var kärnförlusterna mellan 30 och 67 %. I övriga partier var betongen av bättre kvalitet och kärnförlusterna var maximalt 7 %. Till största delen bestod här betongen av mindre god betong och var förmodligen inte vattentät. Detta motsvarar klass 4 i karteringsklassificeringen. För kärnkartering per hål, se bilaga 2. En dålig betong har en något lägre densitet än en "fullgod" och påverkar stabiliteten något genom att egenvikten blir lägre.

Att betongen i muren är otät innebär förutom att hållfastheten i betongen blir sämre även att skyddet för spännstålen blir något sämre. En bra kringgjutning bör dock utgöra ett fullgott korrosionsskydd under tiden som förflutit sedan spännstålens installation.

5 Injektering

5.1 Inledning & syfte

Syftet med en injektering är att tätta mot läckage och ibland även att förstärka. För att en injektering skall lyckas ställs stora krav på både material och utförande. I detta fall ger man även spännkablarna ett bättre skydd mot korrosion genom att tätta betongen.

Genom att pressa in ett cementbaserat bruk kan man återställa den urlakade betongens kvalitet.

Ett injekteringsbruks inträngningsförmåga är en nog så viktig egenskap för att uppnå ett gott resultat, men det hjälper trots allt föga om slutprodukten läcker vatten eller förstörs med tiden. Det finns därför en mängd krav som måste ställas på den hårdnade produkten, och som i mångt och mycket samverkar. Täthet är det första grundkravet och beständighet det andra.

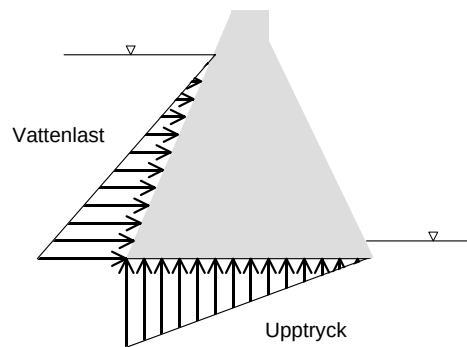
För en betongdamm så kan urlakning ske för dels cementpastan i själva dammkroppen och dels för den tätskärm av injekteringscement som finns under själva dammen.

Beställare av staginstallation och injektering 2004 tom 2006 har varit Vattenfall AB, Vattenkraft. Projektledare var Ragnar Andersson Vattenfall Service Nord.

Entreprenör har varit NIBU-borr AB, Gävle.

5.2 Stabilitet

Vikten av att säkerställa en tät damm förstås lätt genom att betrakta vattentryckets inverkan på dammens stabilitet. För gravitationsdammar är vattentrycket i eller under en damm av lika stor vikt som det utvändiga vattentrycket för dammens stabilitet mot vältnings- och glidning. Figur 5.1 visar en skiss över hur vattentrycket verkar på en gravitationsdamm.



Figur 5.1 Vattentryckets verkan på en gravitationsdamm. Den horisontella lasten benämns vattenlast och den uppåtriktade lasten benämns uppträck. [3]

Upptrycket kommer att bidra negativt till dammens stabilitet genom att öka det stjälpande momentet. Genom att installera en tätskärm under dammen och genom att dränera läckage så kan uppträcket minskas. [3]

5.3 Förstudie

Innan injekteringsarbetet startades kontrollerade man att det inte fanns någon risk att skada någon viktig funktion i muren. Man ska vara observant på att inte bruk kan läcka ut till vatten eller mark, se vidare kapitel 7. Det ansågs inte finnas risk för att injektera fast dammluckor eller sätta igen dräneringar eller liknande.

Utborrade betongkärnor låg även till god hjälp för att planera injekteringsarbetet.

I en förstudie kan man tänka sig att även använda någon typ av oförstörande provning. Det är dock tveksamt om det finns någon lämplig metod för detta tillfälle. Ingen oförstörande provningsmetod användes i Älvkarleby.

5.4 Borrning

Kärnborrning användes för håltagning till de nya spännkablar och man fortsatte att använda samma borrarutrustning även vid injekteringsarbetena.

Vid jämförelser mellan kärn- och hammarborrning ger ett kärnborrat hål oftast ett bättre injekteringsresultat p.g.a. att sprickmynningarna till borrhålet blir mer öppna.

Vid injekteringsborrning hade man normalt ett hålavstånd på en meter. Vid stora vattenförluster borrades en sekundärrad mitt emellan primärraden så att hålavstånden blev 0,5 meter. Inget hål borrades närmare en monolitfog än en halvmeter. Hålen borrades ca en meter ner i berg och hade samma lutning in mot kanalen som spännstålen d.v.s. ca $7,5^\circ$.

På ett möte 040706 togs beslut om att borra ett kontrollhål per monolit fem meter ner i berget för att fastställa murens skick. Hålen vattenförlustmättes

och injekterades därefter. Information från kontrollhålen skulle ligga till grund för beslut om fortsatt arbete. Injektering eller nygjutning var två alternativ. Möjlighet till alternativa lösningar som gjutning av pilastrar som stöd diskuterades.

Hålen för de nya spännkablarna hade en diameter på 116mm medan kontrollhål och injekteringshål hade diameter 56 mm.



Figur 5.2 Borrutrustning som används är en Onram 1000/3 från Hagby

För skiss över muren, se bilaga 1.

5.5 Spolning

Efter slutförd borring spolades hålen med vatten genom att föra en vattenslang upp och ner i hålet till dess att bara rent vatten kom upp. Genom rena hål ökar chanserna avsevärt till ett gott injekteringsresultat.

Spolpumpen som användes är en Bean 0618 HV.



Figur 5.3 Spolning med samband mellan två hål

5.6 Vattenförlustmätning

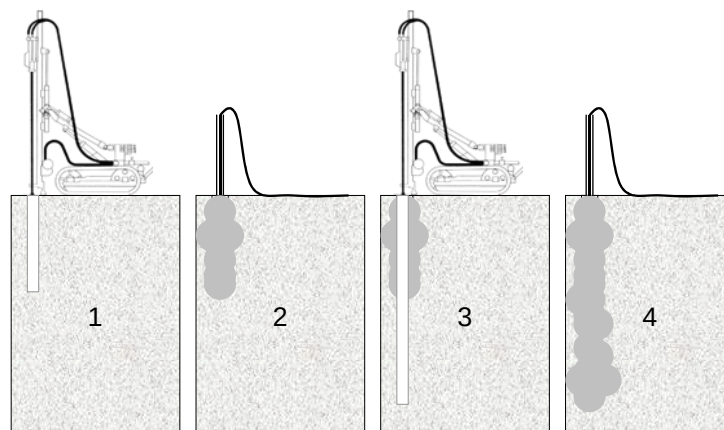
Vattenförlustmätning gör man genom att trycksätta ett borrhål med vatten under en bestämd tid under ett bestämt tryck. Man mäter vattenflödet. Vattenförlusten anges i liter/minut, 1 meter borrhål, MPa. Detta kallas även för lugeontal. Ett visst lugeontal talar dock inte om, om det är ett fåtal stora sprickor eller om det är många små. I Älvkarleby där ofta sprickorna har varit ungefär lika stora har man dock sett ett ganska bra samband mellan resultat från vattenförlustmätning och senare bruksåtgången. På detta sätt har man haft god hjälp vid beställning av framför allt cement till kommande monoliter.

Genom att vattenförlustmäta hålen renspolas även sprickorna i betongen på ett bra sätt. Vattentrycket fick inte överstiga tillåtet injekteringstryck (0,2 MPa).

Att borra och vattenförlustmäta endast ett hål per monolit gav inte allt för stor information om murens beskaffenhet. Minst två hål bör provas så att tätheten mellan dessa kan bestämmas [4].

5.7 Injekteringsutförandet

Hela hålets djup vattenförlustmättes och injekterades oftast på en gång. Där betongen var dålig tvingades man att dela upp håldjupet på flera nivåer på grund av att hålet rasade igen och borrarstål eller spolslang riskerade att fastna. Man utförde nivåinjektering när spolvattnet sjönk vid borrarbning. En del av hålet injekterades och efter härdning av bruket borrades hålet upp på nytt till en lägre nivå. Nivåinjektering använde man endast undantagsvis. För principskiss över nivåinjektering se figur 5.4.



Figur 5.4 Principskiss över nivåinjektering: 1) $\frac{1}{2}$ -t hål, 2) injekterat $\frac{1}{2}$ -t hål, 3) helt hål, 4) injekterat helt hål.

Hål som vid vattenförlustmätning hade samband injekterades samtidigt genom att flera manschetter sattes samtidigt. Om man i detta fall bara trycker bruk från ett hål riskerar man genom tryckförluster att få dåligt injekterade hål.

Ingen injektering utfördes då temperaturen var under ca $+5^{\circ}\text{C}$. [13]

I nedanstående figur ser man två monoliter med nio borrhål i varje monolit. 1:orna injekterades först. De hål som hade samband injekterades samtidigt d.v.s. maximalt fem hål samtidigt. Efter det att 1:orna injekterats injekterade man nästa monolits tvåor enligt samma princip. Därefter gick man tillbaka och injekterade 3:orna osv.

1	1	1	1	1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Figur 5.5 Borrhål i väntan på injektering

5.8 Utrustning

5.8.1 Blandare

Blandaren bör vara av kollodial typ med hög blandningseffektivitet så att cementkornen blir väl dispergerade i blandningsvattnet.

Optimal blandningstid är olika beroende på vilken blandare och vilket material som används och bör därför provas fram. Allt för lång blandningstid påskyndar tillstyvnadstiden p.g.a. av temperaturhöjningen och riskerar att försämra inträngningsförmågan.

Kapaciteten på blandaren skall vara tillräcklig för aktuellt injekteringsarbete.

I början av injekteringsarbetet på muren användes en låghastighetsblandare som bestod av ett kärl på ca 50 liter med två axlar med totalt tre propellrar. Under blandaren fanns en omrörare med en volym på ca 100 liter. Vid två tillfällen provades filtreringsstabiliteten med så kallade filterpumpar enligt prEN 14497. Vid prov med filterduk med masköppningar på 75 μ m passerade 50 respektive 80 ml. Erfarenhetsmässigt borde pumpen bli full (300 ml) eller

mycket nära full för detta filter. Resultaten finns presenterade i rapport 15073-07 [5].

Efter kontrollen av blandaren rekommenderades att byta till en höghastighetsblandare av kolloidal typ, t.ex. Craelius, Oberman eller Häny. Denna typ av blandare används vid berginjektering. För att inte cementpartiklar ska klumpa ihop sig krävs en blandare som utsätter bruket för höga skjuvkrafter under höga hastigheter. Optimalt varvtal är olika beroende på blandare och blandningsvolym. För en kolloidkvarn krävs normalt ett varvtal på minst 1450 varv per minut. Nya rön talar om ca 1750 varv per minut [6]. Blandaren som i början användes i Älvkarleby utsatte bruket för mycket låga skjuvkrafter och kan mer betraktas som en omrörare än en blandare. Kolloidkvarnar finns i olika volymer mellan 50 och 400 liter. Vid stora håligheter i muren räckte den första blandaren inte till. Man kunde inte heller justera tryck och flöde på ett tillfredställande sätt. Det fanns en risk att trycket skenar och kan på så vis bli förödande för konstruktionen.

Den nya blandaren som användes var en kolloidkvarn av märket Craelius.



Volym och varvtal var för oss okänt.

Figur 5.6 Craeliusblandaren i mitten och omröraren till höger i bild

Det är av väldigt stor betydelse att blandare och övrig utrustning hålls ren. Mellan blandare och omrörare är det lämpligt att en sil eller filter sitter för att fånga upp klumpar eller andra oönskade föremål.

5.8.2 Omrörare

Omröraren tjänar som ett utjämningskärl och ser till att inte injekteringsbruket separerar. Det kan vara lämpligt att minst två blandningssatser ryms i omröraren.

5.8.3 Pump

Injekteringspumpen skall ge ett jämt flöde och jämt tryck. Kapaciteten för aktuell injektering skall vara tillräcklig. Tryck och flöde skall kunna regleras oberoende av varandra. Pumpen bör vara försedd med manometer och flödesmätare.

På möte i Älvkarleby 2004-07-06 togs beslut om att det högsta tillåtna injekteringstrycket fick uppgå till 0,2 MPa. Beslutet grundade sig på att begränsa injekteringstrycket till maximalt tryck av egenvikten av ovanliggande mur. Man bör även beakta den på vattensidan pågjutna betongskivan (se kapitel 3.2). En pump användes vid arbetena. Trycket 0,2 MPa motsvarar en lyftkraft på 200 kN/m², dvs. fyller injekteringsbruket arean av ett sprickplan med ytan 1 m², orsakar detta en lyftkraft på 200 kN (20ton). Det är alltså väldigt viktigt att ha kontroll på både tryck och volym för att inte riskera att man skadar konstruktionen som man håller på att reparera [7]. Vid injekteringarna i Älvkarleby mättes injekteringstrycket med två kalibrerade manometrar vid pumpen respektive vid manschetten. För att ha kontroll på hur mycket bruk som användes i varje borrhål så räknades cementsäckarna. Ingen flödesmätare användes.

5.8.4 Manschett

I Älvkarleby användes så kallade mekaniska ytmanschetter. Manschettens uppgift är att tätas mellan slang och borrhål för att man ska kunna trycksätta injekteringsbruket.

Man diskuterade om man skulle använda slangmanschetter och nivåinjektera hålen i etapper nerifrån och upp, men man valde att endast sätta så kallade ytmanschetter. En slangmanschett består utav en exempelvis ¾" slang. När man har injekterat med en sådan slang måste manschetten sitta kvar i hålet med bibehållet tryck tills bruket börjat gela. Då slangen är tunn och lång blir det väldigt svårt att rengöra den efteråt med mer eller mindre hårdat bruk i. Av denna anledning valde man bort detta förfarande.



Figur 5.7 Ytmanschett

För att injekteringen skall kunna utföras på ett effektivt sätt fordras ständig kontakt mellan personen som sköter blandare och pump och den som sköter slangar och manschetter. Avståndet mellan dessa två personer bör vara så kort som möjligt. Vid injekteringarnas start i Älvkarleby tvingades man p.g.a. platsbrist ställa blandaren längre bort än vad som var önskvärt. Förutom eventuella kontaktproblem finns det risk för att bruket separerar om slangarna blir för långa.

Så snart det var möjligt placerades blandaren i direkt anslutning till muren.

5.9 Material

5.9.1 Cement

Cement innehåller korn av varierande storlek och form, vilket bl.a. beror på hur cementet är malt. Cement innehåller inte bara korn av en enda storlek, utan en fördelning av storlekar, därför anges i det enklaste fallet endast maximalkornstorlek, eller om en mer detaljerad bestämning behövs, en siktkurva. Siktkurvan tas i princip fram genom att utnyttja det faktum att små partiklar bärs en längre sträcka i en luftström än större partiklar [8].

Tidigare utfördes de flesta cementinjekteringar med standardcement i första hand ämnade för betongtillverkning. Dessa cementtyper är dock inte särskilt väl skickade för injektering av fina sprickor och porer då de är förhållandevis mycket grovkorniga. Sedan några år finns dock ett brett utbud av cementtyper som är speciellt avsedda för injektering genom att de är mycket mer finmalda än standardcementerna. Trots det finns det ingen större anledning att använda de allra mest finmalda cementtyperna om stora hålrum

och grova sprickor skall fyllas och tätas. Oftast är det så att de mer finmalda cementtyperna är dyrare än de grövre. Ett mer finmalt cement ställer även större krav på blandare och tillsatsmedel. Av dessa anledningar valde man i Älvkarleby att använda Cementas IC30, Injekteringscement, 30 μ m. Injektering 30 är ett sulfatresistent, kromatreducerat och lågalkaliskt portlandscement. IC 30 uppfyller kraven enligt SS-EN 197-1, del 1 och betecknas som CEM I 52,5 LA SR. IC 30 är baserat på samma klinker som anläggningscement. På grund av finmaldheten är injekteringscementen väldigt fuktkänslig.

För att beskriva finmaldheten hos ett cement används två mått, maximal kornstorlek och specifik yta. Benämningen maximal kornstorlek betyder att 95 % av kornen är mindre än i det här fallet 30 μ m. Specifik yta betyder den sammanlagda area en viss mängd partiklar har.

I nedanstående tabell [9] visas några av Cementas produkter. Naturligtvis finns det andra leverantörer av cement.

	UF 12	UF 16	IC 30	Anl. cement
Max. kornstorlek [μ m]	12	16	30	64
Specifik yta [m^2/kg]	2200	1600	1300	310
Kostnadsförhållande	6	4,5	3	1

En gammal tumregel säger att sprickor finare än 3 gånger cementets maximala kornstorlek inte går att injektera. Detta ska tas som en väldigt grov tumregel och stämmer inte alla gånger.

Vid väldigt fina sprickor kan det i vissa fall vara nödvändigt att använda någon typ av så kallade kemiska injekteringsmedel, t.ex. epoxi, polyuretan, vattenglas. Fördelarna med att använda cement i stället för dessa kemiska medel är att [10]:

- Cement härdar bra även i fuktig miljö
- Kan användas vid låga temperaturer
- Består av samma material som betong
- Saknar nästan helt problem ur arbetsmiljösynpunkter
- Har god beständighet i aktuell miljö

Dessutom är de kemiska medlen oftast betydligt dyrare än cementbaserade bruk.

5.9.2 Vatten

Vanligt dricksvatten rekommenderas normalt för användning. Vatten med humus eller klorider ska inte användas. I Älvkarleby användes vatten från Dalälven.

5.9.3 Tillsatsmedel

Det i särklass mest använda tillsatsmedlet är flytmedlet som även benämns "superplasticerande medel". Optimal dosering är beroende på bl.a. val av cement och bör provas fram. Flytmedlet gör att cementpartiklarna inte klumpar ihop sig och man får på detta sätt ett bättre injekteringsresultat. Flytmedlet gör även att man kan få betydligt bättre flytegenskaper utan att tillsätta mer vatten (höja vct). Ett högre vct ger en sämre täthet och beständighet.

Vid dosering skall man vara väldigt noggrann, en för hög dosering kan ge en retarderande effekt. Med tiden avtar flytmedlets effekt och man tappar fördelarna. Normalt bör inte ett bruk användas som är blandat för mer än 30-45 minuter beroende på temperatur och vct. Undantag finns. Bruk som har blivit för gammalt kan användas till hålfyllning eller så får det hållas bort i t.ex. en container. Vid låg bruksåtgång i Älvkarleby har man okulärt sett att bruket tjocknat till.

Om man vill ha ett snabbare tillstyvnande p.g.a. stora vattenflöden/tryck eller vid kyla kan man tillsätta accelerator.

Vid injekteringarna i Älvkarleby tillsatte man 0,8 % HPM av cementvikten. Cementas HPM är en brunfärgad vätska som är baserad på sulfonerande melamin- och naftalenpolykondensat. Torrhalten för HPM är ca 35 % och pH ligger på ca 7,5. Flytmedlet bör lagras i en sluten behållare vid en temperatur över 0°C och med omrörning några gånger per dygn enligt tillverkarens rekommendationer.

För att kunna spåra injekteringsbruk från flera olika injekteringstillfällen så kan man färga injekteringsbruket med olika färger. Vanliga färger är röd och gul. Bruket i Älvkarleby färgades inte.

5.9.4 Vct

Vct (vatten-cement-tal) beskriver förhållandet mellan vatten och cement. Ett vct 0,8 betyder att man använder t.ex. 80 kg vatten och 100 kg cement. Ett lägre vct ger en tätare konstruktion. Allt för lågt vct försämrar dock flödesegenskaperna och på så sätt även inträngningsförmågan.

I Älvkarleby började man år 2004 med ett vct på 1,0. Kontroll av vattenseparation utfördes och visade en onödigt hög separation. Man bestämde att börja på ett lägre vct, 0,8.

Vid injekteringsarbete startade man på vct 0,8. När man tryckt in ca 300 kg cement så sänkte man vct till 0,6 och injekterade samma mängd cement igen. Hade man fortfarande inte uppnått stopptrycket på 0,2 MPa så sänkte man vct ytterligare till vct 0,5. Detta var dock väldigt sällsynt att man använde detta låga vattencementtal.

5.9.5 Beständighet

Modellförsök genomfördes av Vattenfall Vattenkraft under en åttamånadersperiod 1988 för att skaffa bättre kunskap om injekteringsbruks beständighet. Försöksresultaten visade att prover med injekteringsbruk urlakades snabbt och kraftigt av rent älvvatten redan vid mycket ringa

läckvattenmängd. Urlakningshastigheten visade sig vara kraftigt beroende av vattencementtalet och mindre beroende av använda cementtyper. Rapporten slår fast att man vid ominjektering bör använda sig av ett bruk med lågt vattencementtal. [11]

Cementpasta kan brytas ned på en rad olika sätt [3]. De mekanismer som kan vara att räkna med i damminjekteringssammanhang är främst urlakning och sulfatreaktioner. Urlakning har sin orsak i att den relativt lösliga kalciumhydroxid som ingår i den hårdnade cementpastan löses upp av vatten som strömmar förbi eller genom en otät pasta var vid ett underskott av kalciumhydroxid uppstår. Detta underskott medför att CSH-gelen, d.v.s. den hårdnande produkt som till största delen bidrar till cementpastans hållfasthet, spjälkas av ny kalciumhydroxid och så småningom förstörs.

Cementpastans vct, permeabilitet och vattnets beskaffenhet inverkar på cementpastors beständighet mot urlakning. För vct är beroendet starkt, exempelvis visar laboratorieförsök att en ökning av vct från 0.3 till 0.5 ökar urlakningen med 90 %. Permeabiliteten för den hårdnade cementpastan beror huvudsakligen på vct. En kritisk gräns ligger runt vct 0.7. Över denna gräns blir kapillärporerna i pastan sammanhängande och medger genomströmning av vatten och därigenom en ökad urlakningsrisk [3]. Urlakningens omfattning ökar med ett vattens mjukhet, vilket har betydelse eftersom svenska älvvatten i allmänhet är mjukt (kalkfattigt).

Sulfatangrepp förorsakas av att sulfater i läckvatten reagerar med aluminatföreningar i cementpastan. Reaktionsprodukterna är starkt svällande vilket leder till att cementpastan bryts ned [3]. Kriterierna för sulfatangrepp följer i stort sett samma mönster som för urlakning. Dock är detta en kemisk reaktion som kan förhindras genom att använda ett sulfatresistent cement som t.ex. Cementas Injektering 30. Detta angrepp är i allmänhet inte aktuellt för älvvatten.

För att skaffa sig kontroll över läckage och läckagevägar under en dammkonstruktion så tätas i regel berggrunden med hjälp av en tätskärm av injekteringscement. Urlakning av en skärm kan uppstå genom utförandemissar, bristfällig planering, eller uppkomst av sprickor som öppnar upp läckvägar.

Principen för vilka vct som bör användas vid injektering har ändrats kraftigt under de senaste årtiondena. Från att ha eftersträvat ett bruk med mycket vatten så säger dagens kunskap om beständighet att vatteninnehållet begränsas. Det bruk som användes i Älvkarleby hade vct 0,8, vilket får anses vara en maxgräns ur beständighetssynpunkt.

5.10 Provning & kontroll

5.10.1 Förprovning

Innan injekteringsarbetet påbörjas bör en förprovning utföras för att kontrollera att bruket får önskade egenskaper med de delmaterial och den utrustning man avser att använda. Egenskaper som man kan prova vid en förprovning är filtreringsstabilitet, vattenseparation, volymförändring, reologi (flytgräns & viskositet), tillstyvnadstid och densitet.

Vid arbetena i Älvkarleby genomfördes ingen förprovning innan arbetena startades. Man kan tänka sig att resultat från tidigare undersökningar med samma utrustning kan vara tillräcklig.

Nedan följer exempel på lämpliga fältprovningsmetoder:

Filtreringsstabilitet	Metoden, prEN 14497, utvärderar ett bruks inträngningsförmåga och att undgå att bilda så kallad filterkaka.
Marshkon	Enkel metod att kontrollera flödesegenskaper med.
Densitet	Bruket vägs på en speciell våg benämnd "Mud-balance" och densiteten kan läsas av på en skala. Densiteten kan enkelt översättas till ett vct. Detta är en bra kontroll för att se om vågar och flödesmätare stämmer.
Vattenseparation	Bruk hålls upp i ett mätglas och eventuellt vatten på ytan läses av. Vattenseparation och volymförändring uttrycks i procent.
Hållfasthetstillväxt	Brukets skjuvhållfasthet mäts med en så kallad fallkonapparat.
Temperaturmätare	Temperaturhöjningen mäts under t.ex. 1 minut under blandning. När blandaren blir sliten blir denna temperaturhöjning under en minut lägre pga minskad friktionsvärme.

5.10.2 Fortlöpande kontroll

För att säkerställa jämna och goda tätningsresultat bör en fortlöpande kontroll ske.

Man väljer ut önskade egenskaper som bör kontrollera löpande under injekteringsarbetets gång och bestämmer även provningsintervall.

Förutom den kontroll som beskrivs under 5.8.1, blandare, har ingen fortlöpande kontroll skett av blandat bruk.

5.10.3 Efterkontroll

Efter injektering är man oftast intresserad av hur väl man lyckats med arbetet. Huvudsyftet i Älvkarleby var att få en tätare mur och även att höja tryckhållfastheten. Genom en tätare mur skulle även korrosionsskyddet för de nya spännkablarna förbättras en del.

Efterkontroll gjordes på tre olika sätt. Man kontrollerade hur väl injekteringsbruk hade trängt in genom att borra kontrollhål och man kontrollerade även vattenförlusterna i de nya kontrollhålen. Slutligen okulärgranskades murens utsida.

5.10.4 Dokumentering

Det är av stor vikt att injekteringsförloppet noggrant protokollförs. Exempel på parametrar som bör dokumenteras är materialåtgång, borrhålsplacering, vattenförlust, brukssammansättning, borrning, material, tryck, utrustning, kärnkartering mm.

6 Tidigare injekteringsarbeten

Nedanstående avsnitt beskriver framförallt injekteringsarbetena i Älvkarleby kraftverk som genomfördes under åren 1987 till 1991 [12]. Trots att det inte står något om vänster kanalmur så kan man anta att även muren injekterades på ett liknande sätt.

Kraftstationen har injekterats vid ett flertal tillfällen, senast under 1987-91 då avsikten var att förlänga konstruktionens livslängd med 30 år. Vid tillfället uppgraderades konstruktionsdelar uppströms turbinerna: intagströsklar, pelarnosar, sidoväggar och frontbalkar. Kraven på arbetet översattes i att hållfastheten hos den injekterade betongen skulle uppgå till minst K200 (20MPa) och vattenförlusten mätt i borrhålen fick inte överstiga 1,0 l/m·min·MPa. Det injekteringsbruk som användes var uteslutande baserat på Cementa injekteringscement. Grundreceptet var vct 0.6 och 3 % flytmedel V33 beräknat på cementvikten. I något fall med stora bruksförluster förtjockades bruket genom att reducera flytmedelsmängden och sänka vct. Bruket rödfärgades för att underlätta utvärderingen av uppnått injekteringsresultat. Injekteringarna utfördes huvudsakligen genom hammarborrade hål Ø 48 mm och mekaniska enkelmanschetter, med ett max tillåtet injekteringstryck om 0,3 MPa (3 bar) mätt vid manchettens nivå. I det fall ett hål skulle stöta på armering fanns det krav från ägaren om att omedelbart stoppa borrhningsarbetet, och borrhning av ett nytt hål i dess omedelbara närhet (det senare gällde ej om armeringen påträffades på större djup). En hammarborr kan inte borra av armeringsjärn och det är risk att omkringliggande betong skakar sönder vid borrhningen [4]. Vid sammanställning av arbetet konstaterades att fyllnadsgraden för injekterade konstruktionsdelar i stationens respektive aggregat varierade mellan 1.4 och 3.0 %.

7 Miljöaspekter

I direkt anslutning till murens utsida finns bl.a. orkidéer som man var mycket noggrann med att inte skada. Man tog hänsyn till blommarna när material och blandare placerades och en hängränna hängdes upp på muren för att samla upp spolvatten och ev. cementsuspensioner från murkrönet.

Trots stor försiktighet och p.g.a. ev. felaktiga ritningar och missförstånd kom en del injekteringsbruk in i ett vattenintag som finns i muren som leder till Fiskeriverkets försöksstation i närheten. P.g.a. olyckliga omständigheter dog fiskyngel i försöksstationen.

Vattenfall och Fiskeriverket ska nu utreda hur utsläppet kunde ske och vilka förebyggande åtgärder som kan göras för att förhindra att något liknande händer igen.

Enligt Vattenfall har inga andra skador rapporterats under injekteringsarbetena på muren.

8 Ekonomi

Entreprenören fick betalt för timkostnad per maskin och per mantimme. Onormalt slitage ersattes genom att beställaren godkände fakturor.

I berginjekteringssammanhang har man sett att kostnaderna ofta fördelar sig ungefär enligt följande:

• Injekteringsmaterial	10 %
• Utförande av injektering	30 %
• Borrning	60 %

Uppskattningsvis stämmer denna fördelning ganska bra även för betonginjekteringen i muren.

Bra material och utrustning kan tillåta glesare med borrhål och ge en betydligt bättre ekonomi. Ett bra resultat innebär en tätare konstruktion och på det sättet även en längre livslängd.

9 Resultat

Vattenförluster var innan injekteringarna väldigt varierande, från 0 till oändligt stora förluster. Efter injektering var samtliga hål helt eller näst intill helt täta.

Borrkärnor som granskades efter injekteringsinsatsen var okulärt betydligt bättre. Inga kärnförluster observerades och betongen hade blivit betydligt tätare överlag.



Figur 9.1 **Dålig borrhärna från kärnkartering**



Figur 9.2 Borrkärna med inträngt injekteringsbruk

Murens utsida har bitvis varit fuktfläckt sommartid och ispartier har funnits under ett antal år tillbaks vintertid. Efter injekteringsarbetena är nu murens utsida helt torr.

Exempel med nytta med denna uppföljning:

- Filtreringsstabiliteten provades och behovet av en effektivare blandare synliggjordes.
- Ett lägre vattencementtal rekommenderades för att få en bättre beständighet för det injekterade materialet. Konstruktionens livslängd förlängs.
- Ett mer välkänt och mer optimerat flytmedel rekommenderades för att få så bra egenskaper på bruket som möjligt.
- En bättre placering av blandaren påpekades. Detta pga av att få bättre kontroll över injekteringsarbetet och för att undvika separation av bruket.
- Under arbetets gång upptäckte entreprenören att man kunde ha en viss nytta utav resultatet från vattenförlustmätningarna för att få en uppfattning om hur stora cementåtgångar man kunde förvänta sig till kommande injekteringar. På detta sätt hade man oftast lagom mängd cement på plats.
- Vid vattenförlustmätning upptäckte man att det krävdes att man provade minst två närliggande hål per monolit för att få koll på betongens permeabilitet.
- Utsläpp av cementpasta till fiskodlingen i närheten gör att man i framtiden bör vara extra vaksam för att det inte ska upprepas.

Muren är indelad i 23 olika monoliter. Varje monolit är ca 9 meter lång och numreras från kraftstationen och uppströms med nr 23 närmast bron.

Ungefär från monolit nr 7 är muren stensatt. Vid lägre monolitnummer består muren till största delen av betong som endast är stenkädd på utsidan.

Monolit nr	Monolithöjd [ca meter]	Monolitvolym ca [m ³]	Cement- Åtgång [kg]	Borrhål [st]	Fyllnadsgrad [%]
1	10,5	500	2240	19	0,50
2	6	240	640	11	0,30
3	6	300	820	17	0,31
4	6	270	1450	20	0,60
5	6	260	4350	16	1,92
6	6	260	9050	22	3,91
7	5	180	1905	12	1,19
8	4	140	1430	12	1,15
9	4	140	319	12	0,26
10	4	140	153	12	0,12

Monolit nr	Monolithöjd [ca meter]	Monolitvolym ca [m ³]	Cement- Åtgång [kg]	Borrhål [st]	Fyllnadsgrad [%]
11	4	140	831	14	0,67
12	4	140	509	13	0,41
13	4	140	919	14	0,74
14	4,5	160	586	13	0,41
15	5,5	200	804	13	0,45
16	6	220	1260	13	0,64
17	5,5	210	1158	20	0,62
18	5	160	493	12	0,35
19	4,5	160	1166	13	0,82
20	4,5	160	729	13	0,51
21	4,5	160	321	14	0,23
22	4,5	160	1250	12	0,88
23	5,5	130	252	8	0,22
Totalt	-	4600	32635	325	0,75

Kommentarer till tabell:

Antal bormeter består utav 116mm stag hål, 56mm injekterings & 56mm kontrollhål.

Cementmängden har reducerats för hålfyllnaden. Man ska vara medveten om att en okänd mängd cement injekteras i underliggande berg.

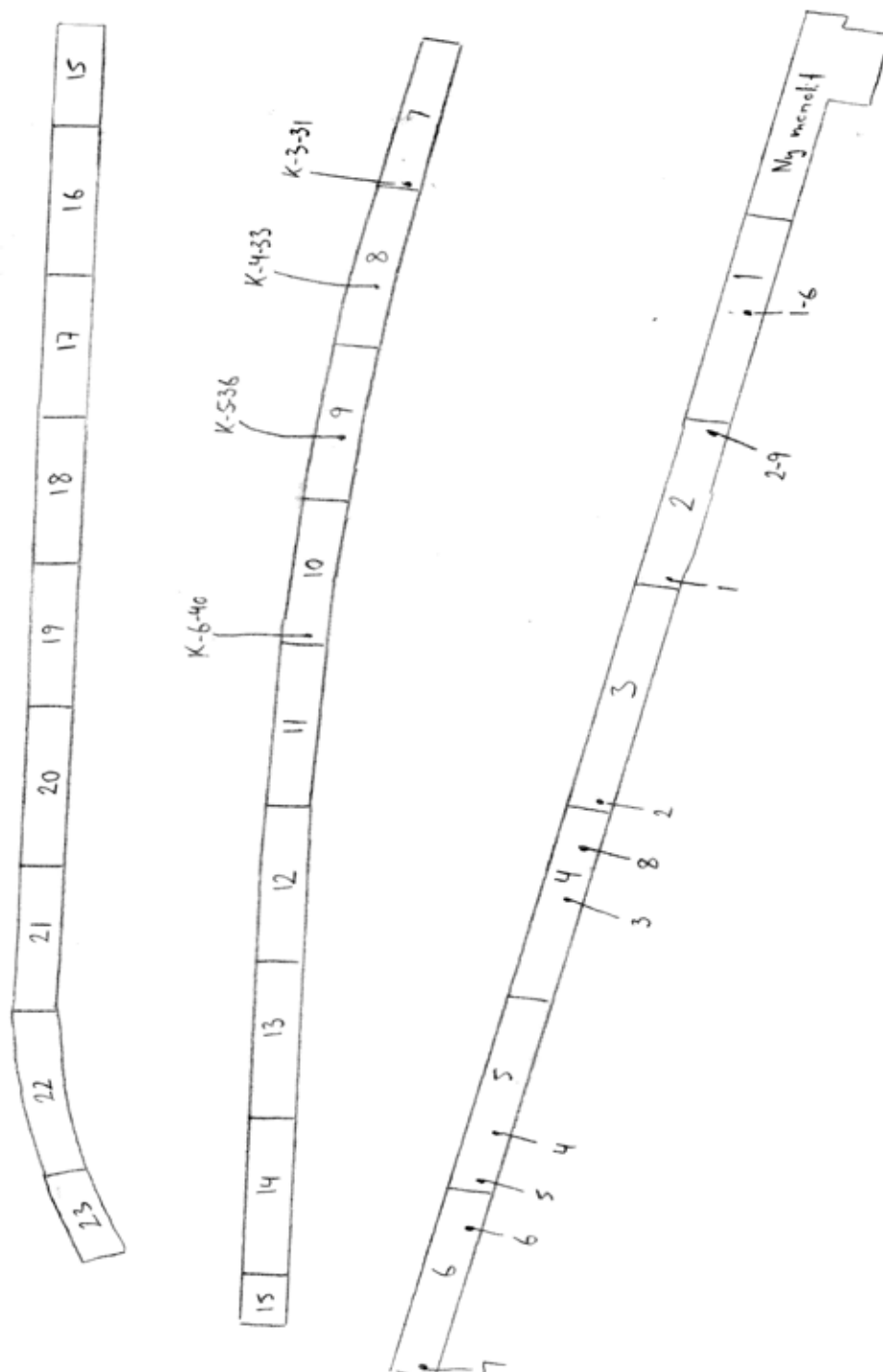
De trasiga stagen återfinns i monolit 2 t.o.m. 6.

När fyllnadsgraden har beräknats har man räknat på att ett bruk på vct 0,8 har använts hela tiden, vilket inte stämmer helt. Man kan se det klara sambandet om hur den höga fyllnadsgraden i monolit 5 och 6 stämmer överens med resultat från kärnkartering enligt bilaga 2.

Vid injektering av Älvkarleby kraftverks konstruktionsdelar och aggregat 1990-1991 varierade fyllnadsgraden mellan 1,4 och 3,0 % (se kapitel 6) [12]. Vid injekteringsarbeten vid Forshuvuds kraftverk i Borlänge varierade fyllnadsgraden mellan 0,5 till 0,9 % och fyllnadsgraden var i medeltal 0,7 %.

10 Referenser

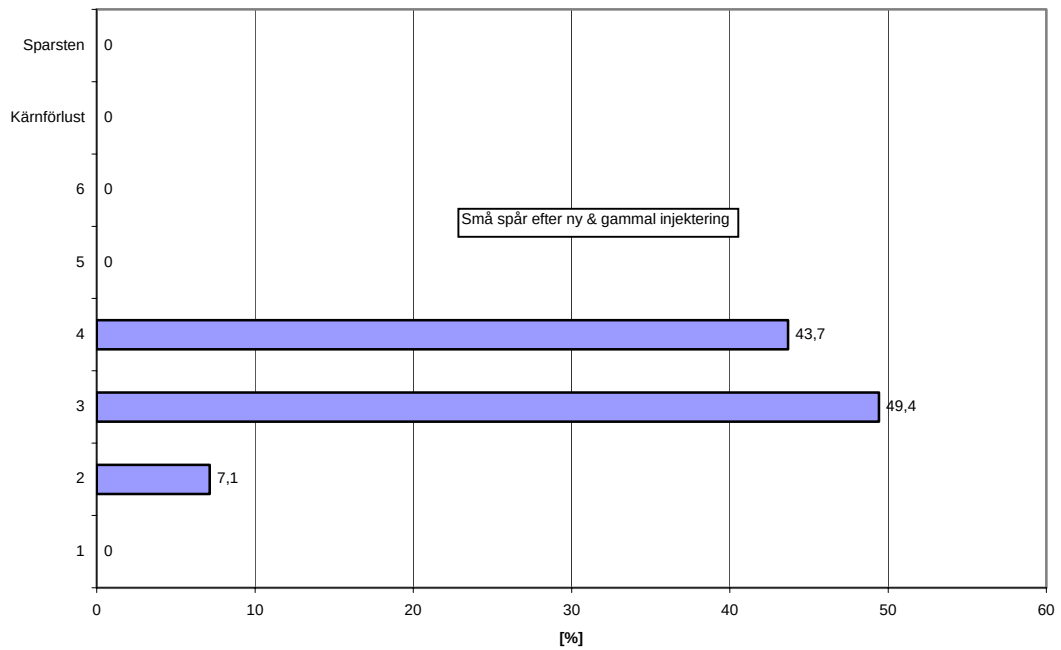
1. Älvkarleby Kraftverksbyggnad, 1911-1917, Nytryckning 1985 inför stundande arbeten.
2. Utvärdering av borrhärlor från betongkonstruktioner, Elforsk rapport 01:01, Raul Grönholm
3. Uppgradering av Forshuvuddammen, En demonstration av oförstörande undersökningsmetoder och cementinjektering, Elforsk rapport, C. Bernstone & P-E Thorsell
4. Sven-Erik Johansson, NIBU-borr AB, muntlig kommunikation 2006
5. Resultatredovisning. Provning av blandare, 15073-07, 2005-11-22, P-E Thorsell
6. SveBeFos Bergmekanikdag 2006, Fortsatta undersökningar om dispergering av mikrocement, S. Hjertström Cementa AB, S Å Pettersson Atlas Copco Craelius AB
7. Injekteringsarbeten vid Akkats Kraftstation, 2003-08-20, rapportnr: US03:03,D Eklund
8. Elforsk rapport 94:12, Cementinjektering – Handbok i materialteknik för injekterare, P Hansson
9. Staffan Hjertström, Cementa AB, muntlig kommunikation 2006
10. Finmalet cement, Malning, injektering, betong. Lars Lidström, Bo Westerberg, 1997
11. Alemo, J., Johansson, N. och Bronner, N. (1988). Utlakning av cementinjektering, Vattenfall Vattenkraft: Utveckling & Miljö, FUD-rapport U(B) 1988/18, 62 s.
12. Hansson, P. (1997). Föryngring av betong i Älvkarleby kraftstation 90-91, i Sammanfattning av föredrag Kraftindustrins Betongdag 1997, Rapport UC 97:10Ö, Vattenfall Utveckling, Betongteknik, s. 17-19.
13. Anvisningar för utförande av permanenta spännkabelförankringar i berg, Swedpower, 990418.

Bilaga 1 Monolitskiss

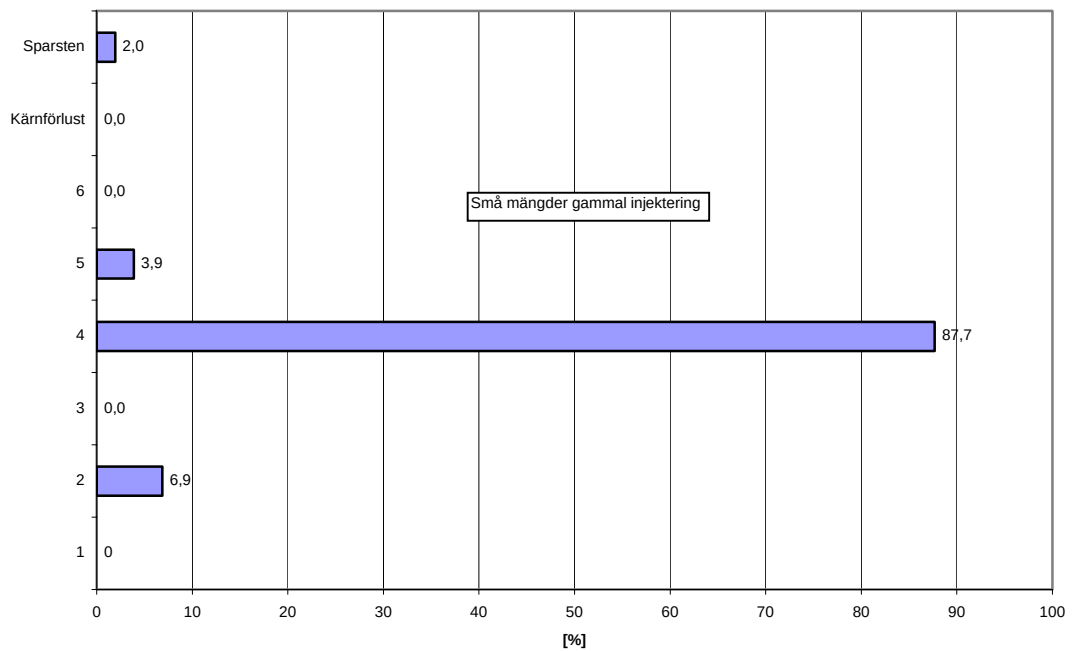
Murens hela längd med monolit 1 närmast kraftverket och monolit 23 närmast bron uppströms. Borrhål enligt bilaga 2 är markerade i figuren.

Bilaga 2 Kärnkartering

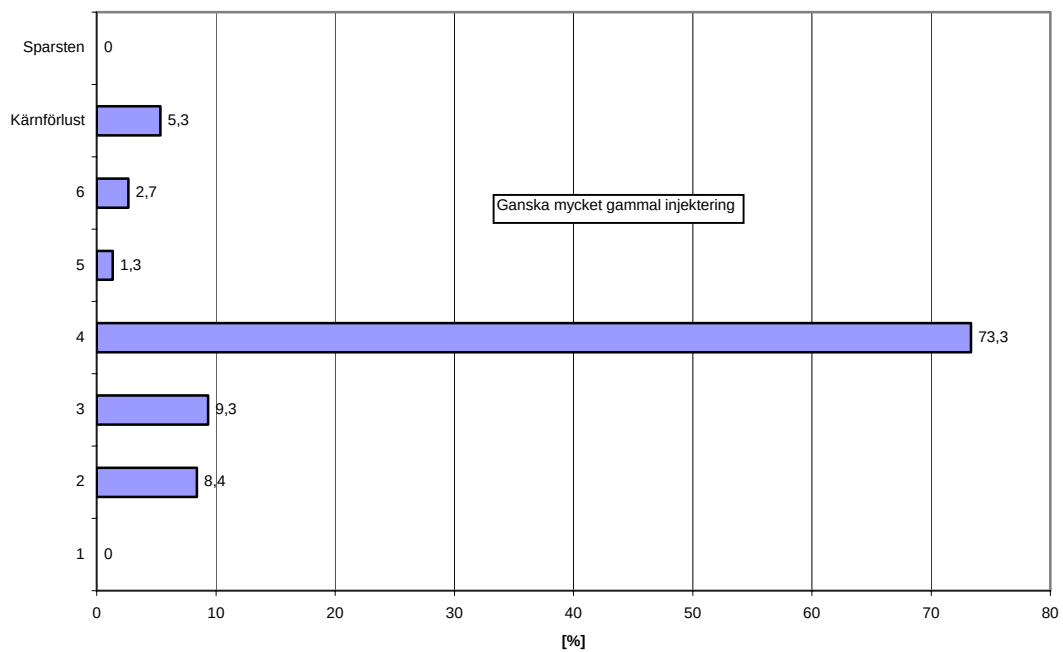
Hål 1-6 (monolit 1)



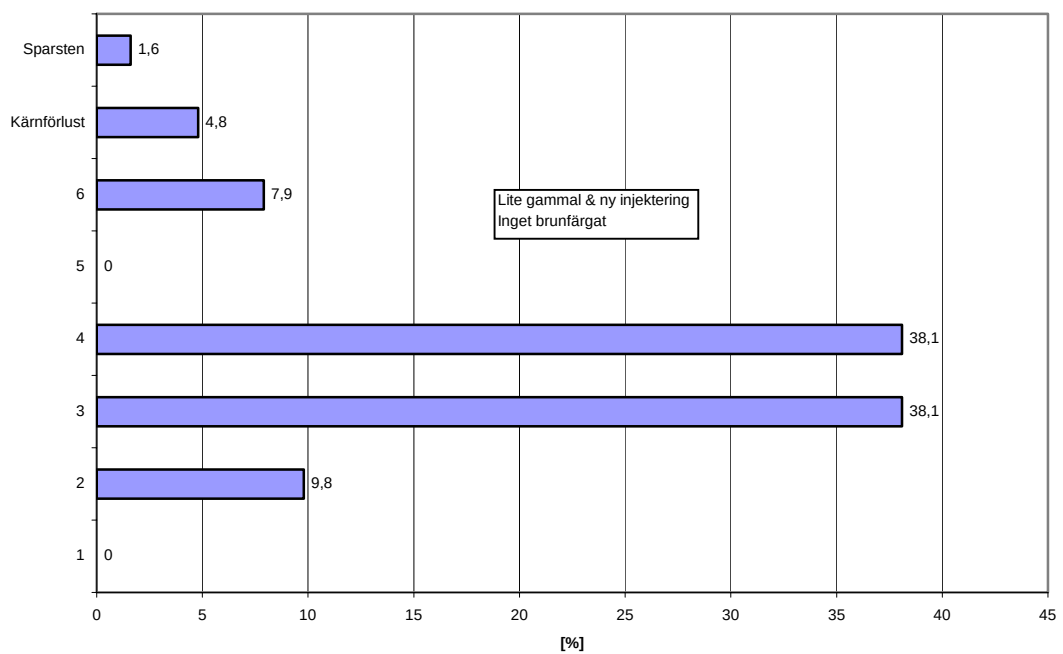
Hål 2-9 (monolit 2)



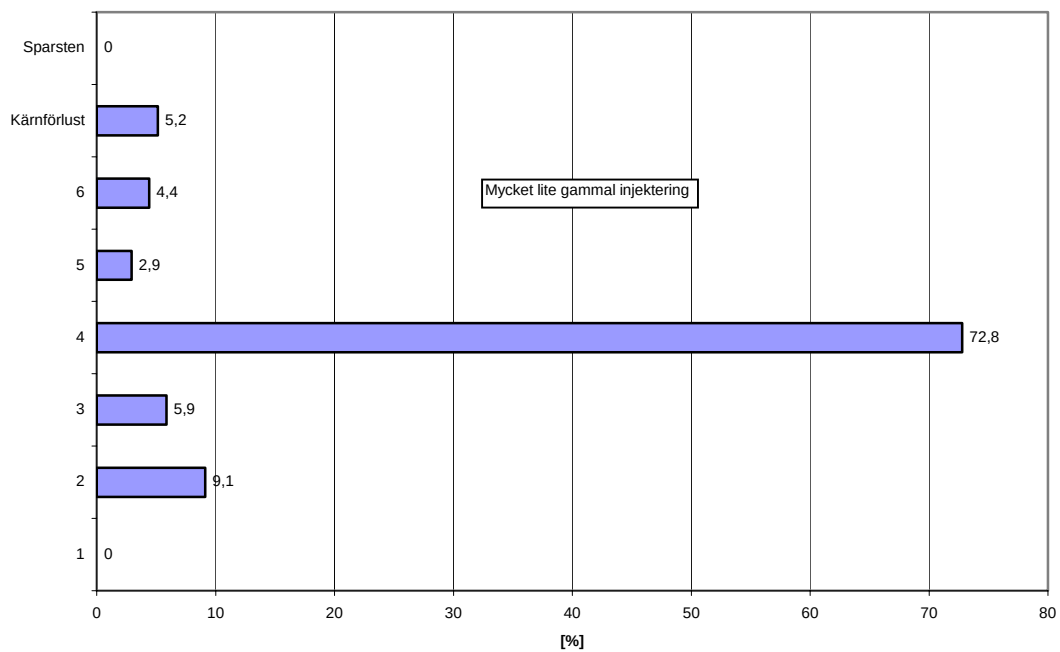
Hål 1 (monolit 2)



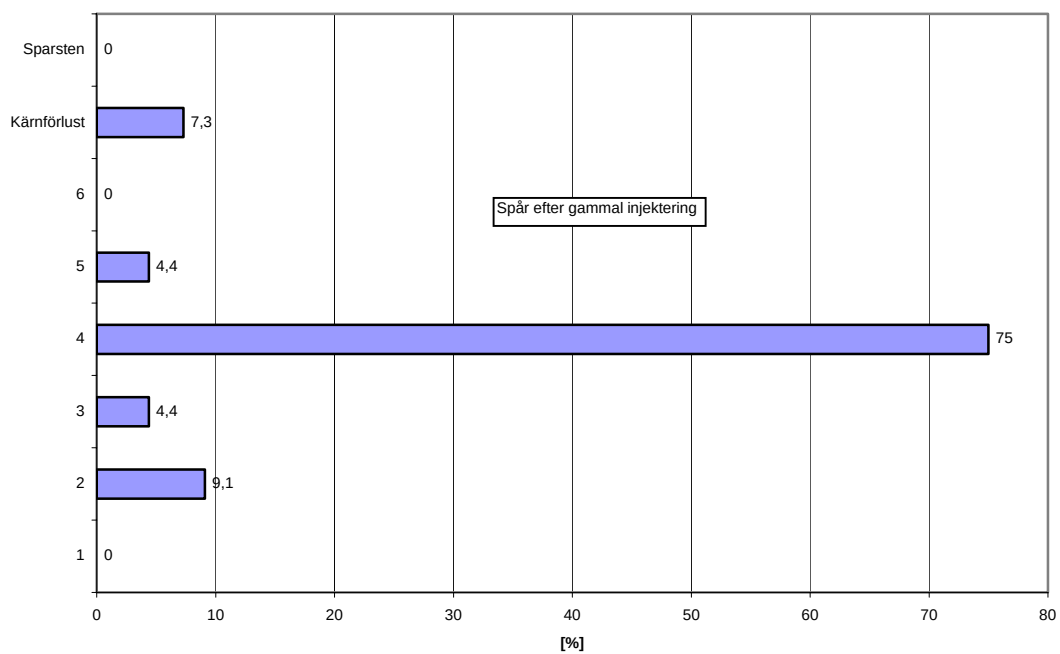
Hål 2 (monolit 3)



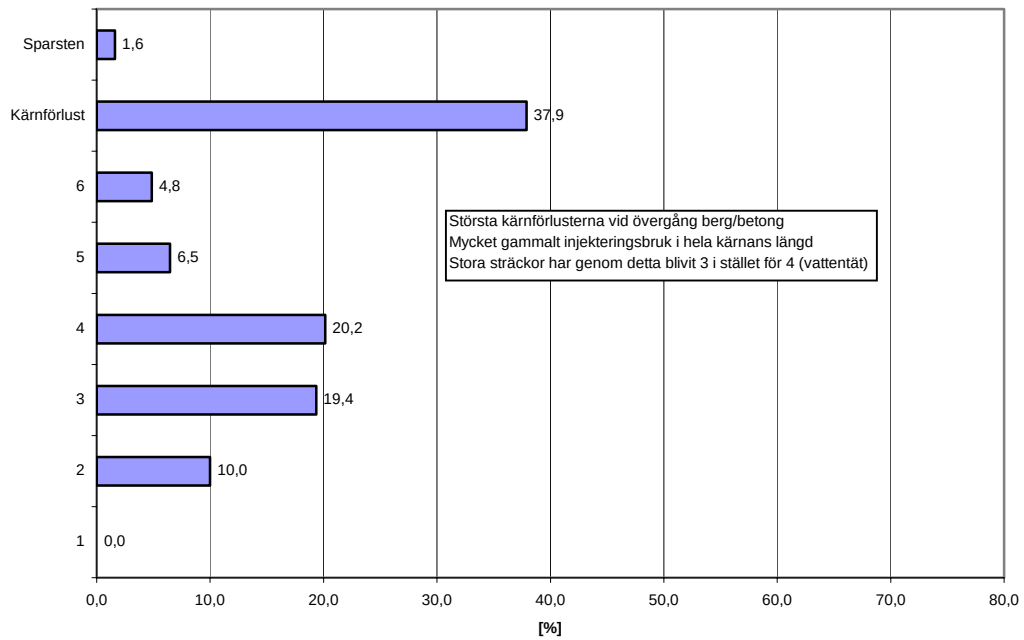
Hål 8 (monolit 4)



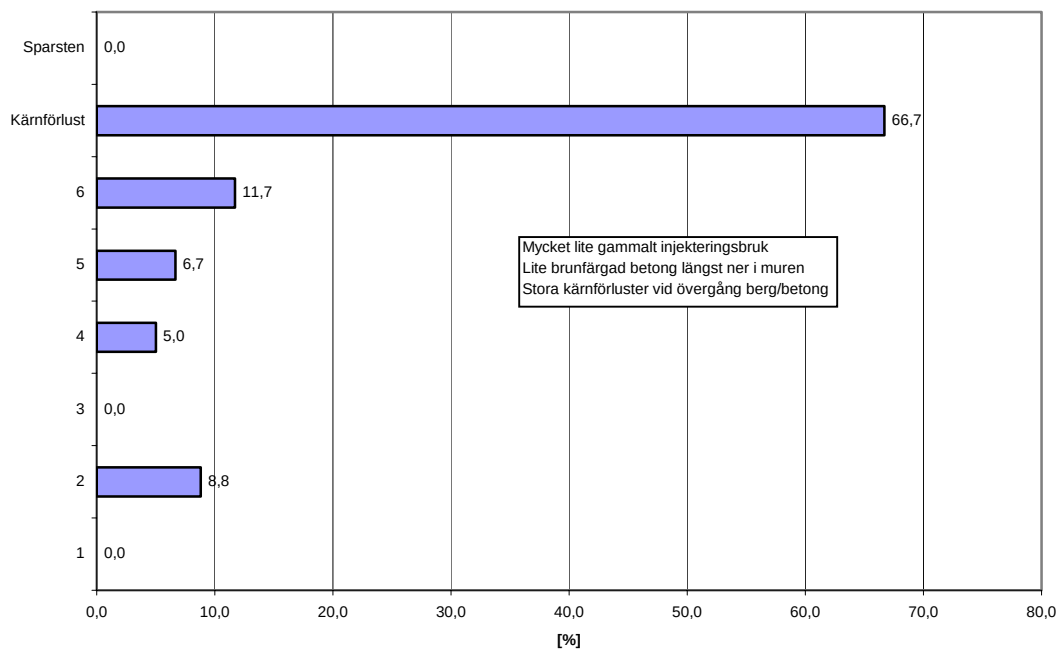
Hål 3 (monolit 4)



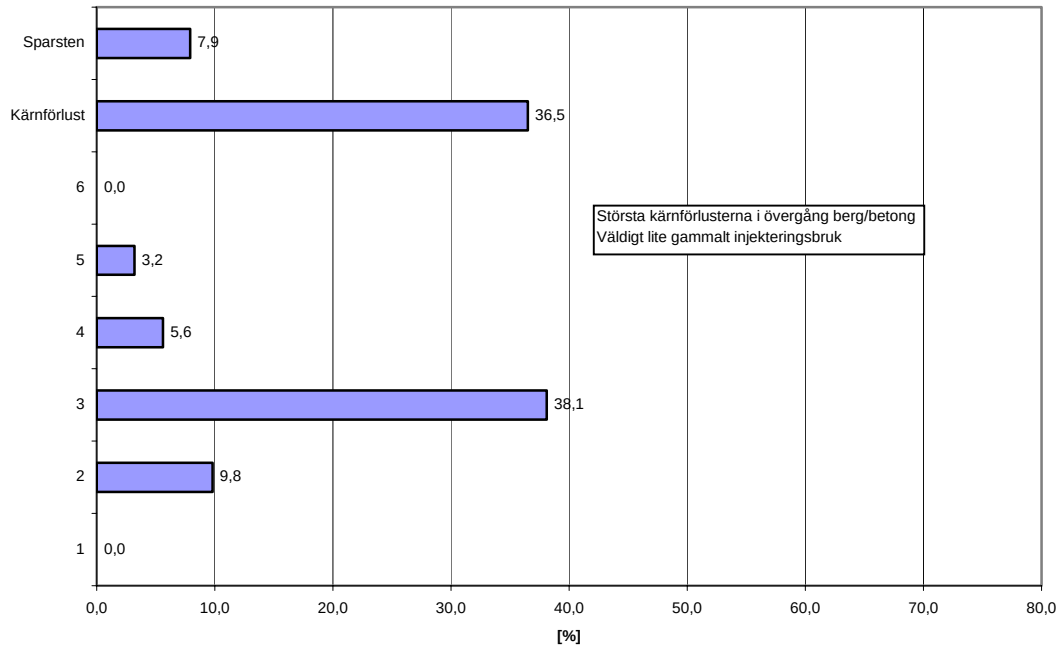
Hål 4 (monolit 5)



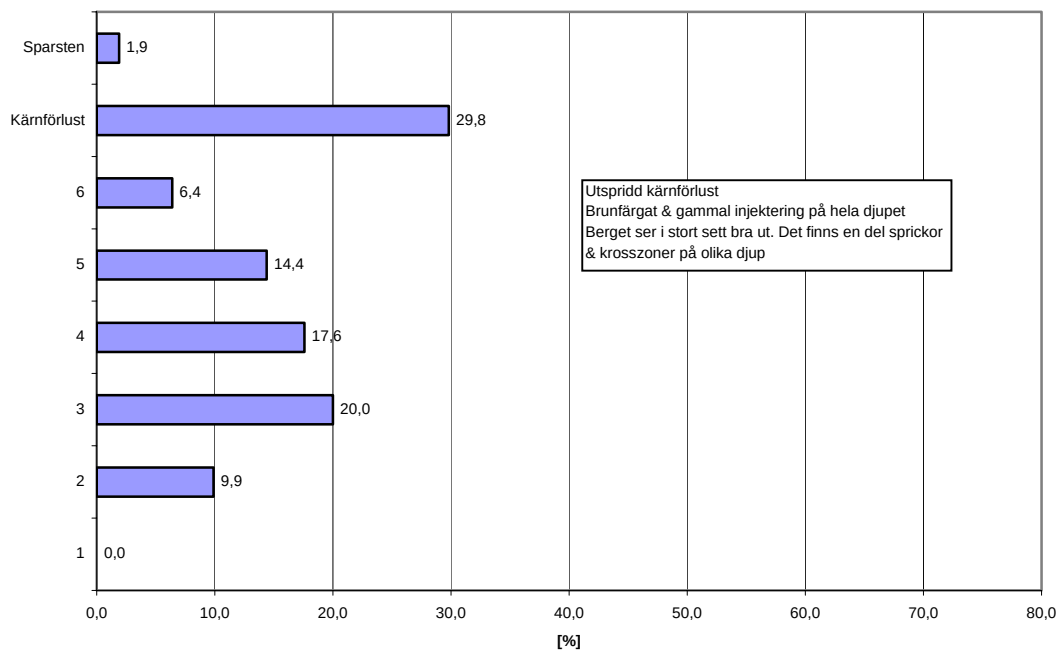
Hål 5 (monolit 5)



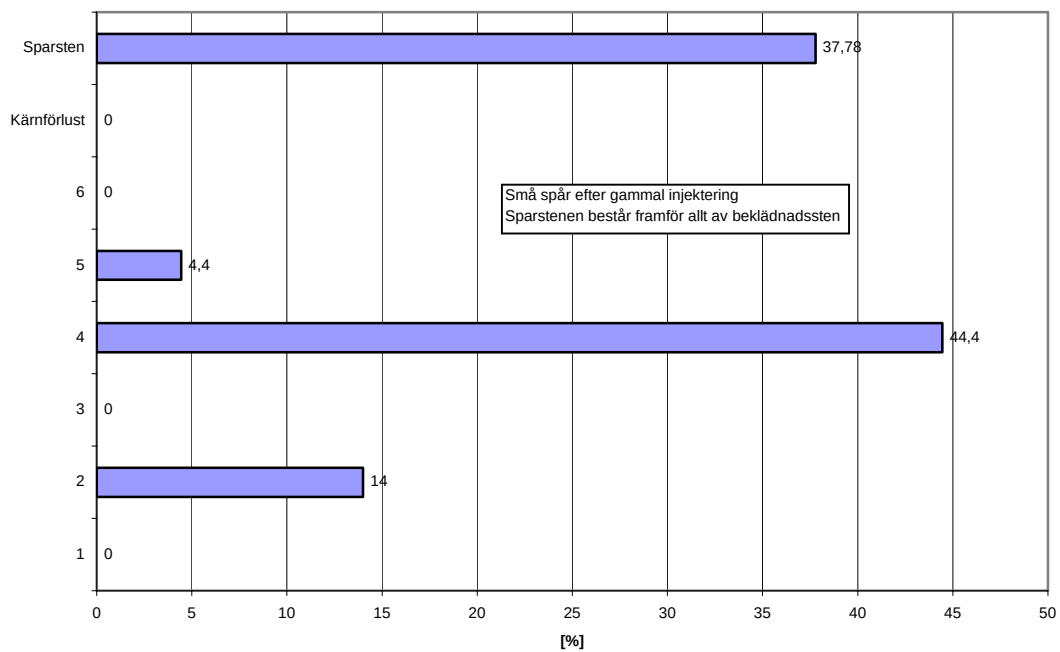
Hål 6 (monolit 6)



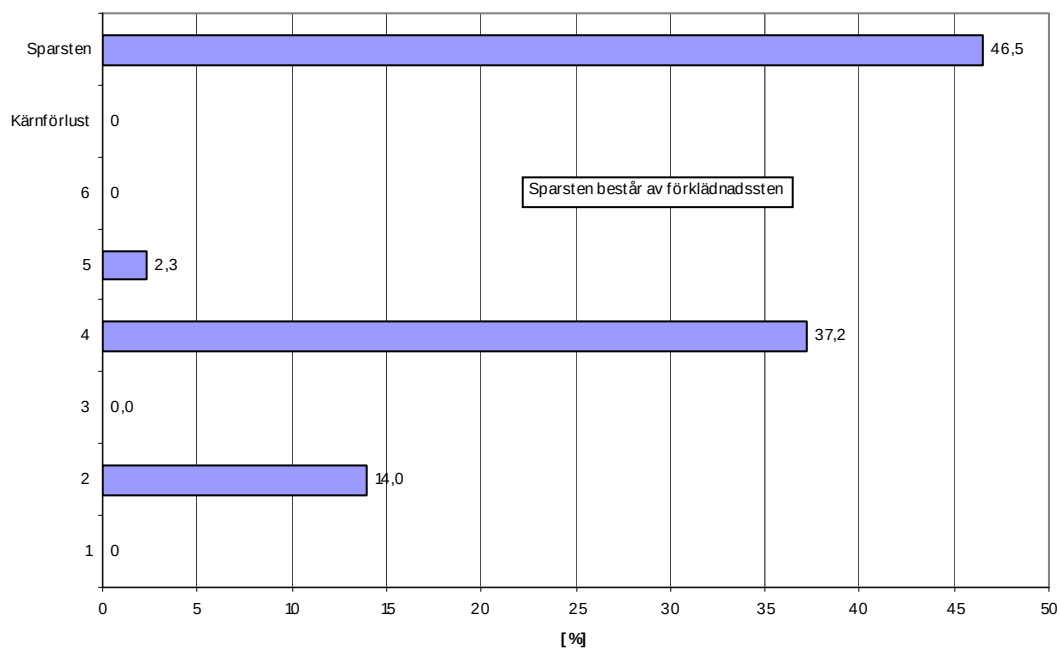
Hål 7 (monolit 6)

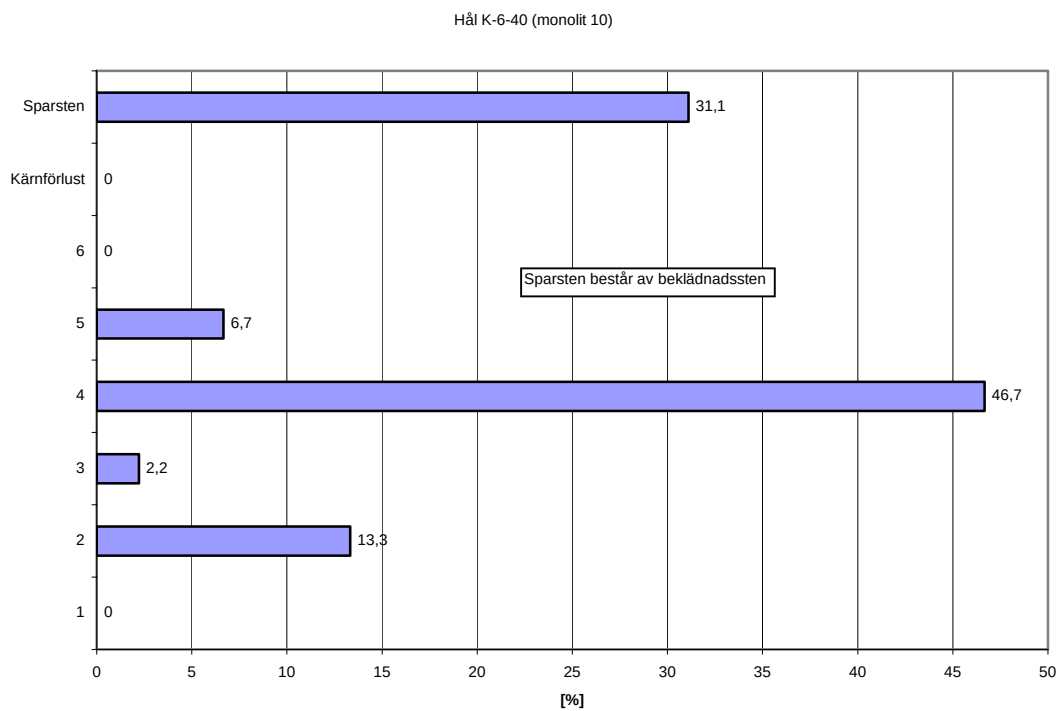
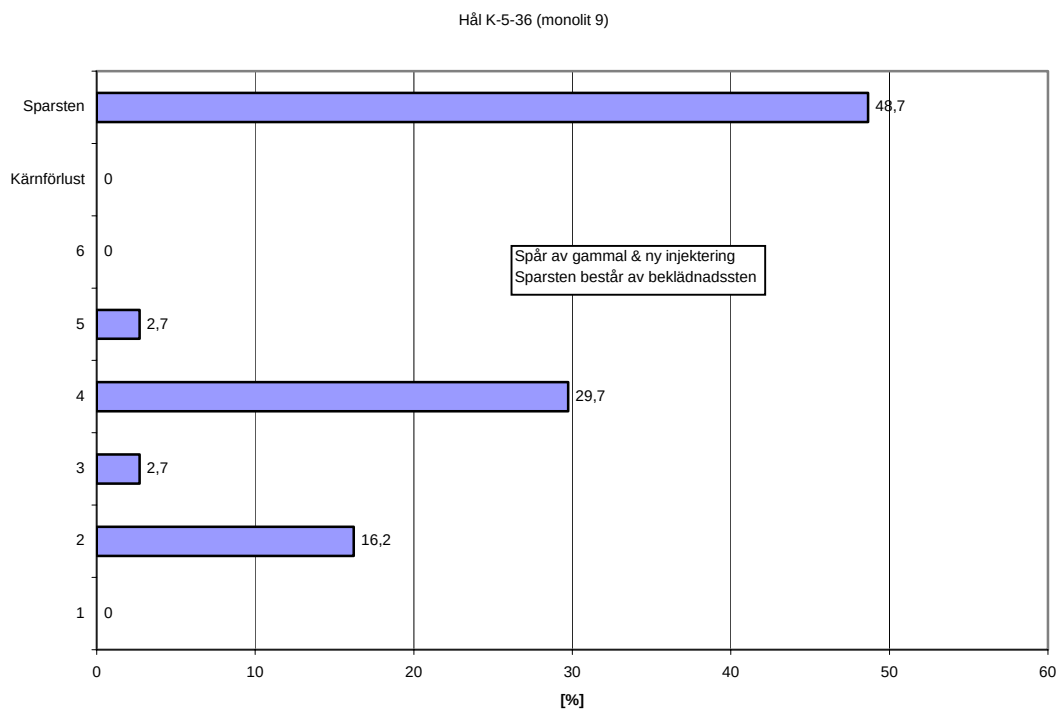


Hål K-3-31 (monolit 7)



Hål K-4-33 (monolit 8)





ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS-
OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB