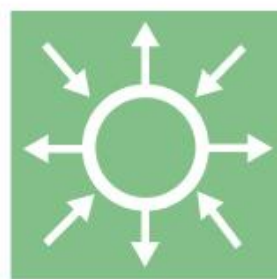
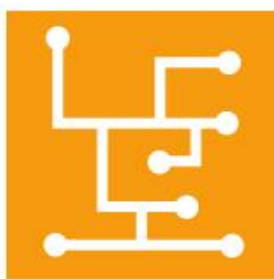




Vägledning för cementinjektering av betongkonstruktioner

– Projektering, utförande och kontroll

Elforsk rapport 11:60



Martin Rosenqvist

Oktober 2011

ELFORSK

Vägledning för cementinjektering av betongkonstruktioner

– Projektering, utförande och kontroll

Elforsk rapport 11:60

Förord

Vattenkraftföretagen*) har via Elforsk stöttat forskning och utveckling inom det betongtekniska området sedan början av 90-talet.

Verksamheten syftar till att utveckla förvaltningen av vattenkraftens betongkonstruktioner för att minska produktionsbortfall orsakade av problem med betongkonstruktioner. Men det finns även en direkt koppling till dammsäkerhetstekniska krav (stabilitet, funktion, bärförmåga och hållfasthet) på förvaltningen av betongkonstruktionerna.

Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov av att kunna göra åtgärder vid rätt tid, till lägsta möjliga kostnad och till rätt kvalitet. En styrgrupp bestående av följande personer prioriterar och beslutar om genomförande av projekt inom programmets ram samt stödjer projektverksamheten i genomförandet:

Erik Nordström, Vattenfall Vattenkraft
Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige
Martin Hansson, Statkraft Sverige
Stefan Norberg, Fortum
Emma Sundelin, Skellefteå Kraft
Markus Hautakoski, Vattenregleringsföretagen
Cristian Andersson, Elforsk

Med ett växande behov av reparationer och åtgärder för befintliga betongkonstruktioner har kraven på lyckade och beständiga reparationsinsatser ökat. Föreliggande vägledning ska bidra till att möta dessa krav genom att utgöra ett stöd för projektering, planering, utförande och kontroll för cementinjektering av betongkonstruktioner.

Ett varmt tack riktas till följande personer som har varit ytterst behjälplig i arbetet att granska och förbättra vägledningen:

Tommy Ellison, AB BESAB
Tina Helin, E.ON Vattenkraft Sverige AB
Magnus Zetterlund, Vattenfall Power Consultant AB
Erik Nordström, Vattenfall Vattenkraft AB
Mårten Janz, ÅF

Stockholm oktober 2011



Cristian Andersson
Elforsk

*)Vattenfall Vattenkraft AB, Fortum Generation, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Statkraft Sverige AB, Jämtkraft AB, Sollefteåforsens AB, Karlstads Energi AB, Jönköping Energi AB deltar i treårsperioden (2010-2012) av ramprogrammet "Betongtekniskt program vattenkraft".

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Historik.....	1
1.2	Vägledning för cementinjektering.....	1
1.3	Avgränsningar	2
2	Begrepp och definitioner	3
2.1	Material	3
2.2	Materialegenskaper	3
2.3	Utrustning	4
2.4	Injektering	5
3	Injektering med cementbruk	6
3.1	Cementinjektering – allmänt.....	6
3.1.1	Cementinjekteringens möjligheter	6
3.1.2	Cementinjekteringens fördelar.....	6
3.1.3	Cementinjekteringens begränsningar och nackdelar	7
3.1.4	Olämpliga användningsområden	7
3.2	Cementbruk	8
3.3	Cementbrukets egenskaper	9
3.4	Kemiska injekteringsmedel	11
3.5	Kristalliserande injekteringsmedel	12
4	Metoder för cementinjektering	13
4.1	Permeationsinjektering	13
4.2	Kontaktinjektering.....	14
4.3	Vakuuminjektering	14
4.4	Dynamisk injektering.....	15
5	Tekniker för cementinjektering	16
5.1	Injektering till fullt djup	16
5.2	Nivåinjektering	17
5.2.1	Injektering nerifrån och upp.....	17
5.2.2	Injektering uppifrån och ner.....	17
5.3	Injektering med stegvis förtätning.....	18
5.4	Växelinjektering.....	19
6	Betongkonstruktioner	20
6.1	Betongepoker	20
6.2	Skadeorsaker	22
7	Projektering	23
7.1	Tillståndsbedömning	23
7.2	Förundersökning av betongkonstruktion.....	24
7.2.1	Kärnkartering	24
7.2.2	Borrhålsfilmning	27
7.2.3	Caliperloggning	28
7.2.4	Vattenförlustmätning	28
7.3	Design av cementbruk	29
7.3.1	Cementbruk för tätande syfte.....	31
7.3.2	Cementbruk för hållfasthetshöjande syfte	32
7.3.3	Cementbruk med övriga syften.....	32

7.4	Förprovning.....	33
7.5	Borr- och injekteringsplan	34
7.5.1	Val av borrhålsavstånd	34
7.5.2	Injektering i grupper eller rader.....	36
7.6	Val av stoppkriterier	37
7.7	Val av injekteringstryck	38
7.8	Val av injekteringsutrustning	38
7.9	Teoretisk design av injektering	38
8	Upphandling av injekteringsarbete	39
8.1	Entreprenadformer	39
8.2	Teknisk beskrivning	40
8.3	Omfattning på injekteringsarbetet	40
8.4	Krav på injekteringsarbetet	41
8.5	Krav på entreprenören.....	42
8.6	Riskhantering	42
8.7	Miljöhänsyn	42
8.8	Lagstiftning, regelverk & normer	43
8.9	Förfrågningsunderlag.....	43
9	Utrustning	44
9.1	Val av borrarutrustning.....	44
9.2	Val av dimension på borrhål	45
9.3	Val av injekteringsutrustning	46
9.3.1	Blandare.....	47
9.3.2	Lagringskärl med omrörare	48
9.3.3	Pump	49
9.3.4	Slangar, kopplingar och avstängningskranar	50
9.3.5	Manschetter	50
9.3.6	Registreringsutrustning	52
9.3.7	Våg.....	52
10	Utförande	53
10.1	Kommunikation.....	53
10.2	Borning	53
10.3	Förberedelse inför injektering	54
10.4	Blandning av cementbruk.....	55
10.5	Injekteringsskedet	56
10.6	Injekteringstryck.....	56
10.7	Förbindelse mellan hål	57
10.8	Ytläckage	58
10.9	Injekteringsarbetets avslut.....	58
10.10	Oförutsedda händelser.....	59
10.11	Kontroll och uppföljning	60
11	Kvalitetskontroll	61
11.1	Personalens ansvar	61
11.2	Kontroll & dokumentation.....	61
11.2.1	Injekteringsprotokoll	62
11.2.2	Fortlöpande provning	62
11.2.3	Efterkontroll	63
11.3	Möten	64
11.3.1	Startmöte	64
11.3.2	Byggmöte	64
11.3.3	Slutmöte	65

12 Miljö, hälsa och säkerhet	66
12.1 En säker arbetsplats.....	66
12.2 Personlig hälsa	67
12.3 Påverkan på miljön.....	67
13 Referensförteckning	68

1 Inledning

1.1 Historik

Dokumenterade injekteringsarbeten finns runt om i världen redan från första hälften av 1800-talet. Den pådrivande faktorn till teknikens utveckling under 1800-talet var utbyggnaden av järnvägen, vilken krävde både förstärkning, samt reparationer av mark och konstruktioner till följd av större laster.

Under 1900-talets första hälft tillkom en ny inriktning på utvecklingen av injekteringstekniken till följd av den påbörjade storskaliga utbyggnaden av vattenkraften. Genom uppförandet av stora dammkonstruktioner förelåg ett behov av att kunna förstärka berget under dammkroppen, samt att tätta berget mot vattenläckage. Detta behov medförde att injekteringstekniken också blev intressant ur ett svenskt perspektiv. En stor ökning av genomförda injekteringsarbeten genererade också god kunskap om injekteringstekniker för berg, samt att det drev på utvecklingen av cementbruk och tillsatsmedel.

Även för reparation och tätning av betongkonstruktioner ansågs injektering på ett tidigt stadium vara en lämplig metod att använda. Redan 1914 användes metoden för att reparera bristfälligheter i murverken tillhörande Älvkarleby kraftverk. Under en inspektion 1921 av Olidans kraftverk i Trollhättan kunde det konstateras att betongkonstruktionerna delvis var kraftigt urlakade i en omfattning som inte gav något annat alternativ än injektering [30]. Härefter fortsatte utvecklingen av injekteringstekniken genom att utöka kunskapen kring hur arbetet skulle utföras rent praktiskt i berg och betong.

Senare tids utveckling har istället koncentrerats kring hur injekteringen bör styras, vilket innebär noggrant definierade injekteringstryck, stoppvillkor, samt kunskap om hur det bergmekaniska systemet uppträder i samband med injekteringen och vilken effekt detta får på injekteringens resultat.

Utvecklingen inom injekteringstekniken fortsätter än i dag med oförminskad styrka och kunskapen ökar hela tiden kring injektering av berg. Kunskapen kring injektering av betong ökar också, om än i något långsammare takt.

1.2 Vägledning för cementinjektering

Med ett för tiden växande behov av reparationer och åtgärder för befintliga betongkonstruktioner, inom både kraftindustrin och det övriga samhället, har kraven på lyckade och beständiga reparationsinsatser ökat. För att lyckas uppnå dessa krav har behovet av vägledning med riktlinjer för projektering, planering, utförande och kontroll för cementinjektering av betong vuxit fram.

Som nämndes i föregående avsnitt har cementinjektering historiskt sett ofta förknippats med tätning av sprickor i berg med syfte att hindra vattenläckage.

Den logiska följd av detta har blivit att den större delen av forskning och utveckling har riktats mot cementinjektering av berg. Utfallet av detta arbete är att det har skrivits mängder av rapporter, avhandlingar, samt ett flertal handböcker om berginjektering. Detta har också underlättat momenten projektering, utförande och kontroll av utförda berginjekteringsarbeten.

Även om många moment vid cementinjektering av betong påminner om de vid cementinjektering av berg, finns det ändå tydliga skillnader att beakta mellan tillämpningsområdena.

Mycket av den kunskap och erfarenhet som idag finns inom cementinjektering av betong är samlad hos ett fåtal personer med stor erfarenhet. Föreliggande vägledning för cementinjektering av betongkonstruktioner har sålunda det övergripande målet att öka och sprida kunskapen om cementinjektering av betongkonstruktioner inom kraftindustrin. De områden som denna vägledning syftar till att öka kunskapen inom är projektering, utförande och kontroll.

1.3 Avgränsningar

Denna vägledning för cementinjektering av betongkonstruktioner behandlar primärt injektering med cementbaserade medel. Injektering med hjälp av polymerbaserade och kristalliserande medel har endast kortfattat beskrivits.

Eftersom det i dagsläget finns god samlad kunskap och dokumentation kring cementbruk, inklusive dess ingående komponenter, det vill säga cement och tillsatsmedel, har dessa material inte beskrivits närmare i denna vägledning.

Likaså har inte heller bakomliggande teoretiska samband för cementbruk och dess egenskaper i berg/betong beskrivits. Fokus har istället, vilket tidigare har nämnts, legat på moment som projektering, utförande och kontroll av själva injekteringsarbetet.

2 Begrepp och definitioner

Nedanstående avsnitt har syftet att underlätta för läsaren att skapa sig en bild över vilken terminologi som vanligtvis används vid injekteringsarbeten och vad de olika begreppen har för betydelse och innebörd.

2.1 Material

Accelerator – kortar ned cementbrukets bindetid med syftet att exempelvis täta vattenförande sprickor utan att riskera urspolning av cementbruket [19].

Cement – ett hydrauliskt bindemedel som hydratiserar i kontakt med vatten och bildar en hård, hållfast massa. Reaktionen sker i såväl luft som vatten. Cement finns med olika kornstorlek för olika ändamål. För injektering finns speciellt framtagna finmalda cement [15].

Cementbruk – cement blandat med vatten och eventuella tillsatser.

Cementpasta – blandning av cement och vatten. Uttrycket kan användas för både färskt och hårdnat tillstånd [15].

Flytmedel – används för att förbättra cementbrukets egenskaper. Ökad flytbarhet i färskt tillstånd, vilket kan användas för att sänka vct [19].

Retarder – förlänger cementbrukets bindetid med syfte att exempelvis täta väldigt fina sprickor utan risk för att cementbruket härdar i förtid [15].

Tillsatsmaterial – tillsätts cementbruket för att minska cementförbrukningen eller att ändra på egenskaperna. Ett använt tillsatsmaterial är slaggprodukter, medan knappt använda tillsatsmaterial är flygaska och silika [15].

Tillsatsmedel – tillsätts cementbruket för att ändra egenskaperna i syfte att underlätta injekteringen. Vanliga tillsatsmedel är flytmedel, luftporbildare, accelerator, retarder, svällande och stabiliserande tillsatser [15].

2.2 Materialegenskaper

Beständighet – cementbrukets förmåga att motstå tidens nedbrytning.

Bindetid – ett mått på cementets reaktivitet. Vid bindetiden har cementet börjat härdna och förlorar snabbt sina egenskaper som flytande vätska.

Densitet – förhållandet mellan massa och volym i ett material, ρ (kg/m³).

Dispersion – se suspension.

Filtreringsstabilitet – mått på cementbrukets inträngningsförmåga utan att bilda plugg vid ingången till en spricka [15].

Flytgräns – mått på den skjuvspänning som krävs för att få bruket att flöda. Flytgränsen bestämmer hur långt in i en spricka bruket kan tränga [15].

Hydratiseringsgrad – hur långt cementet hunnit i härdningsprocessen [15].

Hållfasthet – beskriver förhållandet mellan pålagd mekanisk kraft och deformation i materialet.

Krympning – beskriver cementbrukets volymminskning till följd av cementpastans sammandragning när vatten binds eller lämnar porsystemet.

Reologi – läran om deformationer och flödesegenskaper i ett material [29].

Sedimentation – tyngre partiklar faller mot botten på grund av gravitation.

Skjuvhållfasthet – hållfasthet mot krafter parallellt med ett plan [7].

Specifik yta – uttryck för att beskriva hur finkornigt ett material är [15].

Suspension – en blandning av finfördelade fasta partiklar i en vätska. Vid ett längre stillastående kommer partiklarna så småningom att sedimentera.

Tillstyvnadstid – tid från blandningstillfället av ett specifikt cementbruk, inklusive eventuella tillsatsmedel, och fram tills att det börjar härda.

Tixotropi – beskriver hur ett cementbruks viskositet minskar vid omrörning, för att sedan återgå till ursprunglig viskositet då rörelsen upphör.

Täthet – beskriver cementbrukets förmåga att fylla ut en spricka och därmed hindra framtida vattenläckage genom sprickan [15].

Vattenseparation – om cementbruket inte förmår att hålla kvar allt blandningsvatten kan detta anrikas vid ytan [7].

vct – vattencementtal beskriver kvoten mellan vatten och cement.

Viskositet – ett mått på hur trögflytande en vätska är. Påverkar med vilken hastighet ett cementbruk kan strömma i en spricka [15].

2.3 Utrustning

Betongkoppling – modern slangkoppling med låsarmar för säker låsning av slangar med högt tryck.

Blandare – dispergerar cementbruket så att det inte förekommer klumpar som kan sätta igen utrustning eller sprickor [10].

Filterpump – används för bestämning av cementbrukets filtreringsstabilitet.

Kikkran – avstängningsanordning för vätskeledningar.

Kloppkoppling – äldre koppling för låsning av slangar med högt tryck [10].

Kolloidkvarn – en vanlig typ av blandare för cementbruk [10].

Manometer – mätinstrument för mättryckning av gas- eller vätskestryck i förhållande till omgivande atmosfärstryck.

Manschett – munstycke som avskärmar borrhålet från det omgivande atmosfärstrycket. Genom manschetten injekteras cementbruket.

Marshkon – används för att erhålla en uppfattning och kvalitetsuppföljning på cementbrukets viskositet vid pågående injekteringsarbete [12].

Mud balance – våg för fältprovning av cementbrukets densitet och vct [25].

Omrörare – färdigblandat cementbruk hålls i rörelse så att det inte separerar eller tjocknar inför injekteringen [17].

Pump – används för att uppnå det tryck som injekteringen föreskriver [10].

Registreringsutrustning – dokumenterar kontinuerligt injekteringstryck och injekterad volym cementbruk [10].

Yield stick - används för att utvärdera cementbrukets flytgräns.

2.4 Injektering

Efterinjektering – injektering efter utsprängning vid bergtunneldrivning. Utförs vid lägre tryck för att undvika berguttryckning [10].

Fyllnadsgrad – förhållandet mellan injekterad volym cementbruk och den aktuella konstruktionens hålrumsvolym [6].

Förinjektering – injektering inför utsprängning vid bergtunneldrivning. Höga tryck, vilka beror på grundvattentrycket, är vanligt förekommande [10].

Förprovning – kan utgöra grund för val av cementbruk och utrustning [9].

Injekteringstryck – det tryck som cementbruket pressas in i betongen med.

Kontaktinjektering – metod för att med övertryck täta sprickor och spalter i kontaktzonen mellan exempelvis berg och betong [17].

Lugeon – enhet för mätning av täthet i berg och betong. Anges i enheten Lu, vilken definieras som en liter vatten per meter borrhål och minut vid vattentrycket 1 MPa, det vill säga $1/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{MPa})$ [10]. 1 Lugeon anses vanligtvis motsvara en tät betong eller ett tätt berg [9].

Ominjektering – ytterligare en injekteringsomgång då resultatet av den förra injekteringsomgången inte uppfyllde ställda kvalitetskrav.

Permeationsinjektering – metod för att med övertryck täta sprickor och håligheter i berg och betong [10].

Vakuuminjektering – metod för att med undertryck täta sprickor och håligheter i betong [29].

Vattenförlustmätning – utförs för att bestämma huruvida betongen är tät eller inte. Mäts i Lugeon. Används vid förundersökning och efterkontroll [10].

Vattentäthet – anses uppnådd då 1 Lu erhålls vid vattenförlustmätning [9].

3 Injektering med cementbruk

3.1 Cementinjektering – allmänt

En bedömning bör tidigt utföras i syfte att avgöra om cementinjektering är en lämplig reparationsmetod för en betongkonstruktion. Det är nämligen viktigt att vara medveten om teknikens för- och nackdelar, samt dess möjligheter och begränsningar. Ibland kan nämligen cementinjektering vara olämplig som metod och då finns det även kemiska och kristalliserande medel att välja på.

3.1.1 Cementinjekteringens möjligheter

Den vanligaste anledningen till cementinjektering av en betongkonstruktion är för att täta den mot vattenläckage [21]. Tätningen uppnås genom att sprickor och/eller håligheter i konstruktionen fylls ut med cementbruk.

Det finns också fall då tätheten i en betongkonstruktion endast är av underordnad betydelse. I detta fall utförs injekteringen av cementbruk för att öka betongens hållfasthet och därmed konstruktionens bärförmåga [21].

Med äldre injekteringstekniker har det vanligtvis krävts sprickvidder mellan 0,3 och 0,5 mm för att erhålla god inträngning i betongen. Men i och med utvecklingen av extremt finmalda cement och nya tillsatsmedel har denna praktiska gräns sänkts ned mot 0,1 mm [23]. En vedertagen tumregel har varit att sprickor finare än tre gånger cementbrukets maximala kornstorlek inte gått att injektera. Denna tumregel ska numera endast tolkas som en grov uppskattning och stämmer inte alla gånger [15].

3.1.2 Cementinjekteringens fördelar

Fördelarna med att välja ett cementbaserat injekteringsmedel, framför andra injekteringsmedel, kan sammanfattas i följande punkter [23],[25]:

- Ett bindemedel med mycket snarlika materialegenskaper som den betongkonstruktion som ska repareras.
- Cementbruk håller god kvalitet med kända beständighetsegenskaper.
- Cementbruk kan injekteras och härda i vattenförande sprickor.
- Cementbruk är kraftöverförande efter att härdningen inletts.

- Cementbrukets alkalinitet skyddar eventuell armering mot korrosion. Nytt cementbruk kan även realkalisera en äldre och urlakad betong.
- Relativt ofarligt att handskas med om regler och föreskrifter följs.
- Ger goda möjligheter att upprepa injekteringen ifall behov uppstår.
- Cementbruk är relativt billigt i jämförelse med polymerbaserade injekteringsmedel.

3.1.3 Cementinjekteringens begränsningar och nackdelar

Den största begränsningen för cementbruk är dess förmåga att tränga in i fina sprickor och håligheter. Denna förmåga styrs primärt av cementbrukets vätskeegenskaper och partikelegenskaper, se avsnitt 3.3.

Då ovanstående egenskaper är begränsande för hur ett cementbruk beter sig i betong kommer det inte vara möjligt att återställa en skadad konstruktion till ursprungligt skick. Det är däremot möjligt att vid ett väl genomfört injekteringsarbete förlänga en betongkonstruktions livslängd [27].

Nackdelarna med att välja ett cementbaserat injekteringsmedel, framför andra injekteringsmedel, kan sammanfattas i följande punkter [23].

- Sämre förmåga att täta sprickor med mindre sprickvidd än 0,3 mm.
- Lång bindetid, vilket kan föranleda bortspolning av cementbruket i starkt vattenförande sprickor innan det har hunnit härda. Bindetiden går dock att reglera med tillsatsmedel.
- Cementbrukets krympning kan ge sämre täthet än förväntat.
- Kan ej användas i dynamiska sprickor, det vill säga sprickor som rör på sig över tiden.

3.1.4 Olämpliga användningsområden

Det finns situationer då cementinjektering är en mindre lämplig metod att använda för att reparera en betongkonstruktion. Ett av dessa tillfällen är vid förekomst av dynamiska sprickor, eftersom det härdade cementbruket inte är elastiskt och således inte kan följa sprickans rörelser. Risken är därmed uppenbar att sprickan återkommer [10].

Vidare bör inte heller betongkonstruktioner repareras med cementinjektering när degraderingen av betongen fortskridit så långt att konstruktionen inte längre fungerar på avsett vis. Likaså bör inte en konstruktion injekteras där betongen har en väldigt hög utnyttjandegrad [27].

3.2 Cementbruk

Vanligtvis brukar cementbaserade injekteringsmedel kallas för cementbruk eller injekteringsbruk. Benämningen cementbruk kommer att användas i föreliggande vägledning. Cementbruk definieras som en blandning av cement, vatten och eventuella tillsatser i förutbestämda proportioner [15].

Cement består av små malda korn som inte löser sig i vatten vid blandning, utan de behåller istället sin ursprungliga form fram tills att härdningen inleds. Blandningen kallas för suspension, vilket innebär att cementkornen hålls svävande i vattnet genom en kombination av deras ringa storlek och rörelser i vattnet skapade av blandaren eller omröraren.

De krav som ställs på injekteringen och egenskaperna hos den betong som ska injekteras avgör receptet, det vill säga blandningsportionerna och därmed också cementbrukets egenskaper. Vid större och/eller komplicerade arbeten bör cementbrukets egenskaper utvecklas genom en förprovning i syfte att öka möjligheten till ett bra utfall av det kommande injekteringsarbetet.

De cementtyper som används för injekteringsändamål kan grovt delas upp efter finmalldheten – standardcement, injekteringscement och mikrocement, se Tabell 1. Observera att den maximala kornstorleken vanligtvis innebär att cirka 95 % av kornen är mindre än det angivna värdet. Kostnaden varierar mellan de olika cementsorterna, men ökar normalt med minskad kornstorlek.

Tidigare utfördes de flesta injekteringsarbetena med cementtyper avsedda för betongtillverkning. Eftersom dessa cementtyper ofta var grovkorniga var de också mindre lämpliga för injektering av fina sprickor och håligheter. De moderna och finmalda cementtyperna har dock förbättrad förmåga att tränga in i fina sprickor. Det ska dock påpekas att dessa finmalda injekteringscement ej är kostnadseffektiva att använda om större volymer av sprickor och håligheter ska fyllas ut [25]. Svårigheter i att få en jämn dispergering av cementet kan också uppstå med finmalda cement.

Tabell 1. Översikt av cementtyper som kan användas vid injekteringsarbeten.

	Max kornstorlek [µm]	Specifik yta [m ² /kg]	Bindetid [min]	Relativ kostnad 2011
Standardcement	64	≤ 500	150	1
Injekteringscement	30	~1300	100	≥ 2
Mikrocement	≤ 16	≥ 1600	≤ 70	≥ 3,5

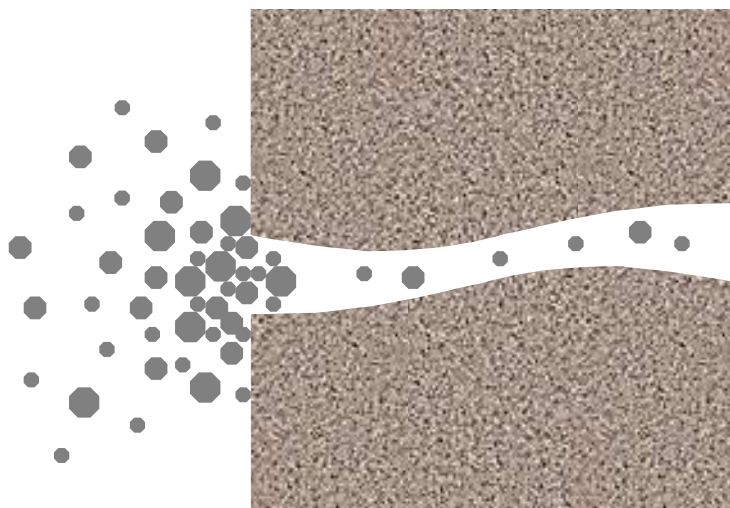
Färgämnen kan ibland tillsättas cementbruket för att underlätta uppföljningen av cementbrukets inträngning i betongen. Det är dock viktigt att undersöka, genom förprovning, om cementbrukets egenskaper bibehålls med färgämnet.

3.3 Cementbrukets egenskaper

Inträngningsförmågan hos ett cementbruk är den egenskap med störst inflytande på om ett injekteringsarbete har förutsättningar att lyckas eller ej. Generellt sett delas denna egenskap upp i vätske- och partikelegenskaper. Dessa två egenskaper påverkar cementbrukets inträngningsförmåga i fina sprickor. Båda egenskaperna kan dock till stor del styras genom olika val av cement, vct och andel flytmedel [15].

Vätskeegenskaperna kan beskrivas med två mått, viskositet och flytgräns. Viskositeten beskriver hur trögflytande en vätska är, vilket påverkar den hastighet cementbruket kan strömma in i en spricka med. Viskositet mäts i pascal-sekund, Pa·s. Flytgränsen är ett mått på den skjuvspänning som krävs för att få bruket att flöda. Flytgränsen bestämmer hur långt in i en spricka bruket kan tränga [15]. Flytgränsen anges i pascal, Pa.

Partikelegenskaperna beskriver hur cementbruket beter sig i små sprickor, vid skarpa kanter eller andra ojämnheter i betongen. Den mest utmärkande egenskapen är filtreringsstabiliteten, det vill säga cementbrukets förmåga att motstå avfiltrering av cementpartiklar. Vid ingången till sprickor finns alltid en risk att cementpartiklar avfiltreras och bildar en plugg, se Figur 1 [15].



Figur 1. Pluggbildning av cementkorn vid ingång till spricka [14].

Krav på cementbrukets inträngningsförmåga i en spricka kan upprättas med hjälp av b_{min} och $b_{kritisk}$. Storleken på en spricka där inga cementkorn längre kan passera definieras som b_{min} . Storleken på en spricka där inga tecken på pluggbildning längre kan iakttas definieras däremot som $b_{kritisk}$ [11].

Förutom vätske- och partikelegenskaperna finns det även andra egenskaper hos cementbruket, vilka kan bli direkt avgörande för utfallet av injekteringen i ett kort och/eller långt perspektiv. Några exempel på dessa andra egenskaper presenteras kortfattat i nedanstående lista:

Blandningen av cementbruket är av stor betydelse för injekteringsresultatet. Vad som generellt avses med blandning är dispergeringen av cementbruket, vilket innebär att sammanhängande cementpartiklar slås och hålls isär [15].

Bindetid är tidsrymden mellan blandningstillfället och tidpunkten då cementbruket börjar härda. Detta innebär att det i de flesta fall dröjer ett tag innan cementbruket börjar härda på sin plats i sprickan eller håligheten. Under denna tid finns det en möjlig risk att cementbruket kan spädas ut eller till och med spolats bort. Bindetiden varierar med valet av cementtyp och tillsatsmedel.

Separation i ett cementbruk kan uppstå om cementbruket inte förmår att hålla kvar allt blandningsvatten. Vattnet lägger sig då på ytan och medför att en del av sprickan eller håligheten blir fylld med vatten istället för cementbruk. Läckage av vatten genom betongkonstruktionen kan således ske även fortsättningsvis, dock i mindre omfattning [15].

Krympning av ett cementbruk beror på cementpastans sammandragning under uttorkningsskedet då vatten reagerar och binds till cementet eller istället lämnar porsystemet. Krympning medför att cementbrukets slutliga volym blir något mindre än det färska cementbrukets volym. I små sprickor har krympning liten inverkan medan den kan bli märkbar i större håligheter.

Hållfasthet är en egenskap som speciellt efterfrågas då krav föreligger om att cementbruket ska vara kraftöverförande. Hållfasthet testas efter 28 dygn och värdet på hållfastheten har ett starkt samband med vct såvida inte tillsatsmedel med hållfasthetsnedsättande egenskaper har använts [15].

Täthet är den egenskap som vanligtvis efterfrågas vid ett injekteringsarbete. Tätheten i ett hårdnat cementbruk beror till stor del på dess vct, cementets specifika yta och hydratiseringsgraden. Täthet i en spricka beror dock inte endast på cementpastans täthet, utan även på cementbrukets förmåga att kunna fylla ut sprickan [15].

Beständighet är cementbrukets förmåga att över tiden motstå nedbrytning, vilket är önskvärt då en reparation förutsätts hålla en lång tid. Vanliga orsaker till nedbrytning av cementbruk är urlakning och sulfatangrepp. Genom rätt val av cementbruk, en hög täthet på cementpastan och en god utfyllnad i sprickan och/eller håligheten, uppnås vanligtvis en god beständighet [15].

3.4 Kemiska injekteringsmedel

Tekniska begränsningar medför att ett cementbaserat injekteringsmedel inte alltid är det mest lämpliga valet inför injektering av en betongkonstruktion. De två vanligaste begränsningarna för cementbaserade injekteringsmedel är bristande förmåga till inträngning i fina sprickor och håligheter eller vid injektering i delar av konstruktioner med stor vattenföring. I det förra fallet riskeras dålig utfyllnad av spricksystemet och i det senare fallet riskeras utspädning och i värsta fall bortspolning av cementbruket.

Med kemiska injekteringsmedel kan ovan nämnda begränsningar undvikas. Kemiska injekteringsmedel kännetecknas av god inträngningsförmåga, samt goda möjligheter att kunna reglera härdningsförloppet [28]. Nackdelarna som dock bör övervägas vid valet av kemiska injekteringsmedel är att de generellt sett är dyrare än motsvarande cementbaserade injekteringsmedel. Dessutom kräver de kemiska injekteringsmedlen en noggrannare hantering med avseende på de miljö- och hälsoeffekter som en felaktig hantering kan medföra på vatten, växter, djur och människor. Kemiska injekteringsmedel kan även försvåra självläkning av betongen.

För läckande betongkonstruktioner kan de kemiska injekteringsmedlen grovt delas in i fyra grupper baserat på dess huvudsakliga beståndsdelar [28].

- Silikater/vattenglas – fungerar utmärkt vid tillfälliga tätningsåtgärder, medan dess beständighet är ifrågasatt. Katalysator och härdare kan medföra arbetsmiljömässiga risker för utföraren [28].
- Akrylat- och metakrylatpolymerer – har goda inträngningsegenskaper för tätning av fina sprickor. Härdningsförloppet kan dessutom styras. Medlen är ej lämpliga att använda i situationer med stor vattenföring då kvaliteten riskerar att försämrats. Beständigheten är generellt god förutom vid frostpåverkan och uttorkning. Den färdiga produkten bedöms ha liten miljöpåverkan, medan dess komponenter bör hanteras med desto större försiktighet vid beredning av medlen [28].
- Enkomponentspolyuretan – är lämpliga vid injektering av fina sprickor och när krav på god reglering av härdningsförloppet efterfrågas. Medlen är lämpliga för tätning där stor (dock ej extrem) vattenföring förekommer eftersom medlen polymeriserar i kontakt med vatten. Beständigheten för den härdade produkten bedöms generellt vara god, dock med undantag. Genom att följa gällande föreskrifter för hantering kan komponenternas inverkan på miljö och hälsa minimeras [28].
- Tvåkomponentspolyuretan – har goda inträngningsegenskaper för tätning av fina sprickor. Härdningsförloppet kan styras. Medlen är lämpliga när kraftig, och till och med extrem, vattenföring förekommer då medlens komponenter reagerar snabbt. Den härdade produkten bedöms ha god beständighet. Vid användande av medlen är risken för miljöpåverkan liten, medan arbetsmiljörisken är desto större till följd av ökad hantering av ohälsosamma komponenter [28].

Epoxi är ett tvåkomponentsmedel lämpat för injektering och tätning av fina sprickor på grund av epoxins goda inträngningsegenskaper. Vanligtvis bör sprickorna vara torra eller något fuktiga för erhållandet av bra vidhäftning. Förekomst av fritt vatten påverkar inte härdningsprocessen men minskar epoxins vidhäftning till betongen. Den härdade produkten anses beständig i basiska miljöer. En nackdel med epoxi är att härdningsprocessen upphör eller minskar kraftigt i hastighet när temperaturen sjunker under 7°C, varför denna egenskap är viktig att ta hänsyn till vid val av epoxi som injekteringsmedel. Lika viktigt är det att undersöka hur epoxin fungerar i miljöer med förhöjda temperaturer, det vill säga 40°C eller varmare. Det är nämligen inte alla epoximedel som härdar och fungerar som avsett vid högre temperaturer.

Övrigt förekommande kemiska injekteringsmedel att nämna är akrylamid, lignosulfat, aminoplaster och fenoplaster. Samtliga dessa medel är inte att rekommendera vid injektering av betongkonstruktioner på grund av deras hälsorisker, varierande kvalitet eller krav på sur miljö för fullständig reaktion.

3.5 Kristalliserande injekteringsmedel

Att använda kristalliserande injekteringsmedel är fortfarande relativt ovanligt i Sverige. Detta trots att tekniken frekvent används utomlands. Utan att gå in i detalj består dock det kristalliserande injekteringsmedlet av Portlandcement, finmald kvarts och organiska tillsatser. Dessa tillsatser bildar kristaller i betongens porsystem, vilket resulterar i större täthet än vanligtvis [18]. Det finns tre sätt att applicera det kristalliserande injekteringsmedlet:

- Medlet strös på en nygjuten yta.
- Medlet blandas med vatten och anbringas på en hårdnad yta.
- Medlet blandas direkt med den färska betongmassan.

Ifall det kristalliserande injekteringsmedlet blandas med vatten och anbringas på ytan till en läckande betongkonstruktion kommer det att migrera in i betongens porsystem genom osmos. Inträngningen pågår så länge det finns tillgång till fukt. Erfarenhet har visat att det slutliga inträngningsdjupet kan bli upp till några decimeter. Även för tätning av läckande sprickor finns det möjligheter att använda kristalliserande injekteringsmedel [18].

4 Metoder för cementinjektering

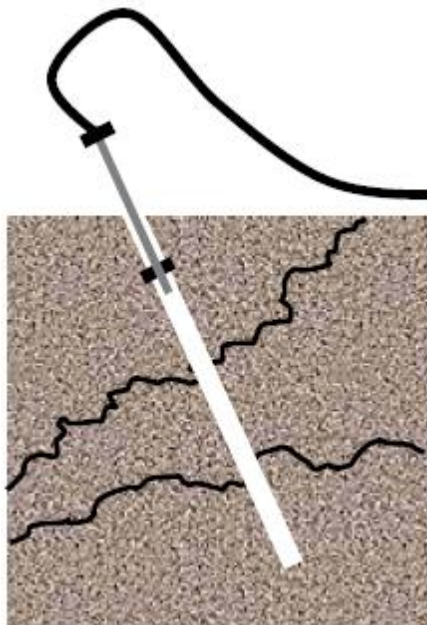
Vid injekteringsarbeten med cementbruk i betongkonstruktioner kan ett flertal metoder tillämpas beroende på de aktuella förutsättningarna i konstruktionen som ska injekteras. I följande avsnitt presenteras några vanliga (och mindre vanliga) metoder för injektering med cementbruk – permeationsinjektering, kontaktinjektering, vakuuminjektering och dynamisk injektering.

4.1 Permeationsinjektering

I ett historiskt perspektiv har permeationsinjektering varit, och är fortfarande, den vanligast förekommande injekteringsmetoden. Under övertryck pressas cementbruk in i sprickor och håligheter i berg för att fylla ut dessa, se Figur 2. Metoden förutsätter dock att sprickorna och håligheterna är så stora att injekteringen kan ske med avsett cementbruk och inom rimlig tid [10].

Förutom det klassiska användningsområdet vid tätning och förstärkning av berg vid tunnel- och dammbyggnationer används metoden även vid reparationer av uppspruckna och/eller urlakade betongkonstruktioner [10].

Metoden kallas *Consolidation grouting and cavity filling* på engelska.



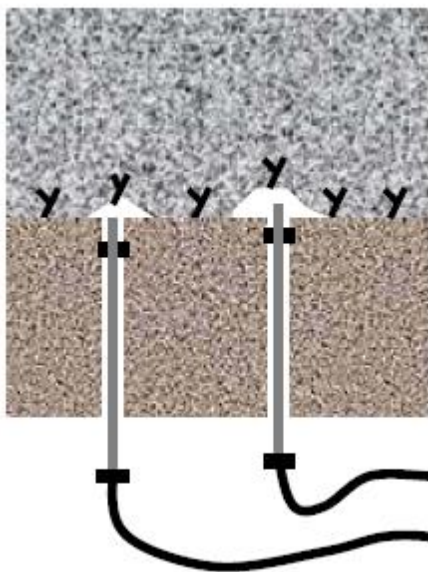
Figur 2. Illustration av permeationsinjektering för tätning av sprickor.

4.2 Kontaktingektering

Kontaktingektering används främst för tätning av sprickor, spalter och hålrum som har uppstått i kontaktzonen mellan exempelvis berg och betong, se Figur 3 [17]. Ett vanligt förekommande exempel är vid gjutning av tätpluggar då kontaktzonen efteråt kan behöva injekteras för att uppnå fullgod täthet. Ett annat exempel då kontaktingektering kan bli aktuell är vid gjutning mot andra konstruktioner där krav på täthet och god vidhäftningsförmåga efterfrågas.

Sprickor kan uppkomma då betongen krymper och/eller när rörelser i berget uppstår. Injekteringen utförs vid ett relativt litet djup med hål som korsar kontaktzonen. Utförandet av kontaktingekteringen är nödvändigt i syfte att säkerställa att betongen har tillräckligt god vidhäftning mot berget och/eller den motgjutna konstruktionen. Detta för att motverka vibrationer, nedfall av betong och/eller läckage av vatten i kontaktzonen [10].

Metoden kallas *Contact grouting* på engelska.



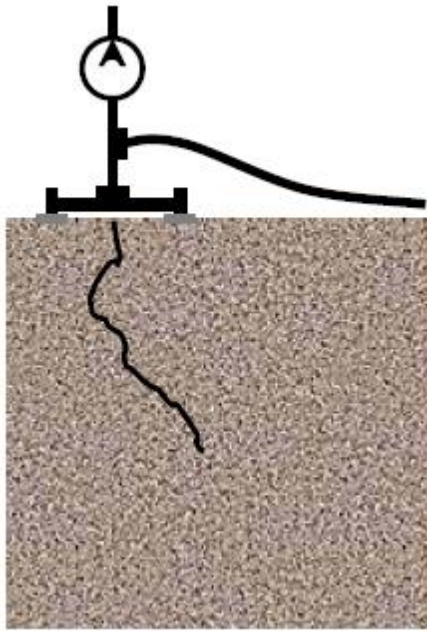
Figur 3. Illustration av kontaktingektering för utfyllnad av hålrum mellan berg och sprutbetong.

4.3 Vakuuminjektering

Till skillnad från övriga metoder, vilka samtliga trycksätter cementbruket, så utsätts istället sprickor och håligheter för undertryck vid vakuuminjektering. När cementbruket sedan släpps på sugas detta in i sprickan eller håligheten, se Figur 3. Metoden kan med fördel användas vid sprickor och håligheter i känsliga konstruktioner då påverkan på betongen runt skadan blir minimal.

Området som ska injekteras måste avskärmas från omgivande lufttryck för att möjliggöra skapandet av ett undertyck. När pumpen har uppnått ett förutbestämt undertryck öppnas ventilen till behållaren med cementbruket, vilket därefter sugas in i sprickan eller håligheten. Vid behov kan proceduren upprepas [29].

Metoden kallas *Vacuum grouting* på engelska.



Figur 4. Illustration av vakuuminjektering av en spricka där en pump suger ut luften i pilens riktning tills nästan vakuum uppstår. Därefter släpps bruket på via slangen och sugas in i sprickan (t.h.).

4.4 Dynamisk injektering

En mindre vanligt förekommande injekteringsmetod är dynamisk injektering. Som beskrivningen avslöjar innebär tekniken att cementbruket utsätts för ett pulserande tryck vid injekteringen. Den fördel som har påvisats med metoden är att till och med sprickor mindre än 0,1 mm har kunnat injekteras med cementbruk. Inträngningsförmågan hos cementbruket har dessutom påvisats vara bättre än för statiskt tryck, även om skillnaden inte varit markant [8].

För att använda metoden krävs däremot speciell utrustning lämpad för att både kunna skapa och tåla dynamiskt och statiskt tryck.

Metoden kallas *Dynamic grouting* på engelska.

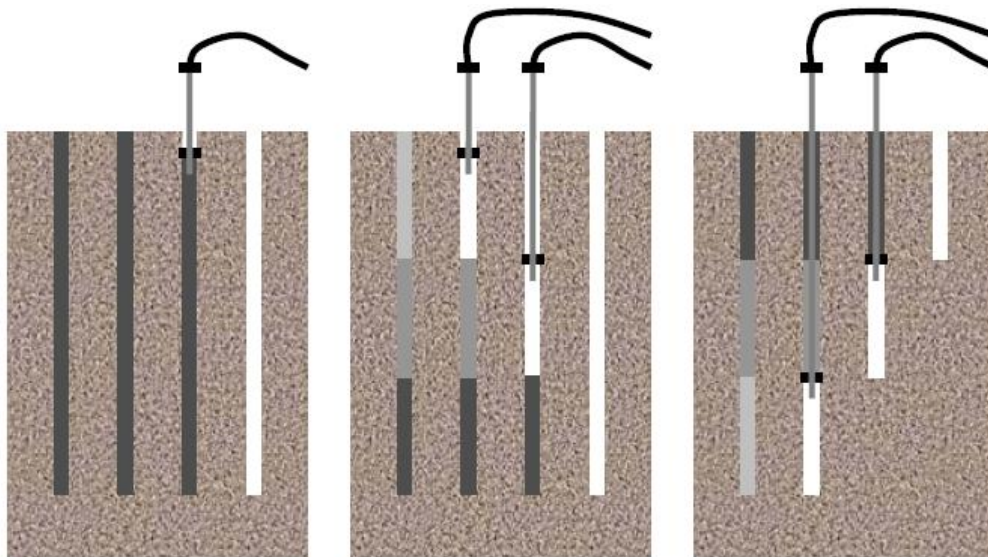
5 Tekniker för cementinjektering

Vid val av injekteringsteknik måste hänsyn tas till betongkonstruktionens allmänna tillstånd, vilket erhålls från en förundersökning av konstruktionen. En tumregel är att den teknik som ger acceptabelt resultat till lägst kostnad bör väljas [24]. De injekteringstekniker som presenteras i kommande avsnitt är olika tillämpningar av traditionell permeationsinjektering.

5.1 Injektering till fullt djup

Den enklaste och tillika vanligaste tekniken för injektering av en skadad betongkonstruktion är att låta injektera borrhålet i endast en operation, se bild till vänster i Figur 5. Det förberedande arbetet inför injekteringen består i att borra injekteringshålet till fullt djup, spola det rent och därefter montera ytmanschett för tätning av hålmynningen [24].

Injektering till fullt djup är dock bäst lämpad för betongkonstruktioner där betongkvaliteten är likartad längs hela injekteringshållets sträckning [24].



Figur 5. Injektering till fullt djup i en operation (t.v.). Nivåinjektering nerifrån och upp (mitt). Nivåinjektering uppifrån och ner (t.h.). Illustration från [24].

5.2 Nivåinjektering

Vid fall av väldigt varierande omfattning och/eller art av skador, exempelvis betongkonstruktioner med urlakade zoner och/eller sprickor med varierande sprickbredder krävs oftast andra tekniker än permeationsinjektering för att uppnå acceptabel kvalitet. För att höja kvaliteten på resultatet kan således injekteringen istället utföras i nivåer, så kallad nivåinjektering, för att anpassa cementbruk och manschettval efter de lokala variationerna i betongkvaliteten. Nivåinjektering kan utföras både nerifrån och uppifrån och nivåindelningen bestäms lämpligen utifrån resultat från förundersökningen.

5.2.1 Injektering nerifrån och upp

Om en betongkonstruktion är uppsprucken med stor variation i sprickbredder är det ofta lämpligt att injektera olika nivåer av injekteringshållet med olika sammansättningar av cementbruk. Detta för att uppnå en högre kvalitet på tätheten i konstruktionen [24].

Nivåinjektering nerifrån och upp innebär att injekteringshålet först borrar till fullt djup på en gång, varefter injekteringen utförs etappvis med start vid hålets botten, se bild i mitten av Figur 5. De olika etapperna stängs sedan av med en lång manschett och allt eftersom arbetet fortgår flyttas manschetten uppåt i injekteringshålet [24].

SVårigheter med tekniken kan uppstå ifall injekteringen utförs från ett väldigt trångt utrymme och skarvning av manschetterna måste utföras. Likaså kan problem uppstå ifall betongen är av så dålig beskaffenhet att ras inträffar längs borrhålets väggar. Nedfallande material kan försvåra borrhålets arbetet, samt nedförandet och uppdragandet av manschetten [24].

5.2.2 Injektering uppifrån och ner

Vid en uppsprucken eller urlakad betongkonstruktion, där stor risk för ras i borrhålet föreligger om det borrar till fullt djup, kan istället nivåinjektering uppifrån och ner användas. Cementbrukets sammansättning kan anpassas efter den variation av sprickbredder som finns utmed borrhålets längd. På detta sätt uppnås högre kvalitet på tätheten i konstruktionen [24].

Nivåinjektering uppifrån och ner innebär att injekteringshålet borrar etappvis för att mellan varje etapp spolas ur och injekteras. Olika tillvägagångssätt finns för montage av manschetter. Det första alternativet är att manschetten monteras så att det hela tiden bara är den nyborrade etappen som injekteras, se bild till höger i Figur 5. Det andra alternativet är att använda en kort

ytmanschett och trycksätta hela hålet för varje ny injekteringsetapp. Detta innebär att även de föregående etapperna ominjekteras gång på gång [24].

Svårigheter med tekniken kan uppstå ifall injekteringen utförs från ett väldigt trångt utrymme och skarvning av manschetterna måste utföras. Dessutom bör det påpekas att tekniken är väldigt tidsödande, eftersom borrar inte får utföras i eller i närheten av ett nyligen injekterat borrhål. Då tid oftast är pengar bör tekniken endast användas i undantagsfall.

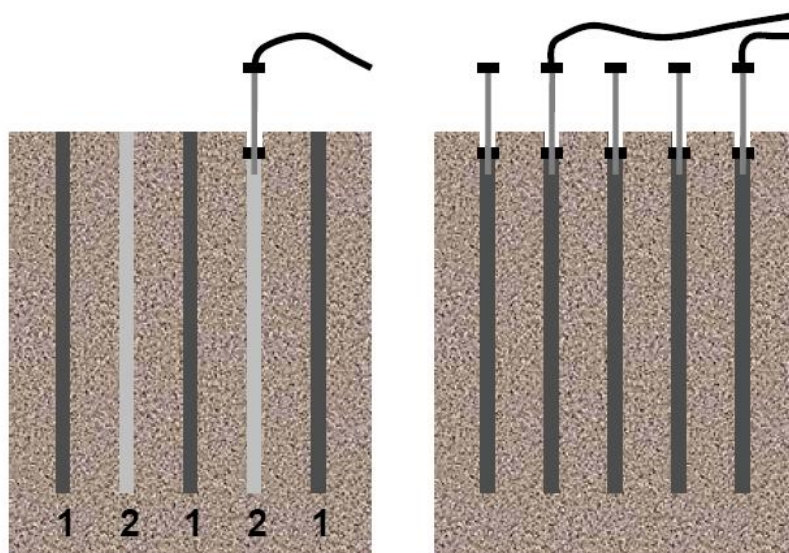
5.3 Injektering med stegvis förtätning

Om en betongkonstruktion ska injekteras längs en hålråd kan det ibland vara fördelaktigt att borra, spola ur och låta injektera hålen med stegvis förtätning, se bild till vänster i Figur 6. Första injekteringsomgången präglas således av ett större avstånd mellan hålen än vad som annars är normalt [24].

Efter att hålen till andra injekteringsomgången har borrats och spolats ur kan en vattenförlustmätning, se avsnitt 7.2.4, ge en god indikation på vilken tätande effekt som uppnåtts genom injekteringen i den första omgången [24].

Vid injektering med stegvis förtätning är det vattenförlustmätning som avgör antalet omgångar det krävs för att uppfylla kravspecifikationen till arbetet.

Injektering med stegvis förtätning kan både kombineras med teknik för injektering till fullt djup och nivåinjektering, se avsnitt 5.1 och 5.2 [24].



Figur 6. Injektering i två omgångar med förtätning av injekteringshål (t.v.). Växelinjektering vid förbindelse mellan hålen (t.h.). Illustration från [24].

Tekniken kallas *Split-spacing* på engelska, vilket också är en ofta använd benämning på tekniken i Sverige.

5.4 Växelinjektering

Vid upptäckt förbindelse mellan injekteringshål i en hålrad kan injektering ske genom flera hål samtidigt eller växelvis för att erhålla samma tätande effekt i hela konstruktionen, se bild till höger i Figur 6. Det är dock inte alltid nödvändigt att injektera samtliga hål samtidigt, men hålen ska alltid efter utfyllnad av cementbruk snarast möjligt trycksättas. Även trycket i dessa hål bör hållas under uppsikt med hjälp av manometer [24].

6 Betongkonstruktioner

Vid ett reparationsarbete är det viktigt att känna till den byggnadsteknik som tillämpades vid tiden för konstruktionens uppförande. Att ha god förståelse om byggnadstekniken medför också insikt om dåtidens byggnadsmaterial och det tillvägagångssätt som tillämpades vid uppförandet av konstruktionen. Genom att förstå byggnadstekniken kan även en förståelse för karaktäristiska svagheter och skador för respektive byggnadsteknik erhållas.

6.1 Betongepoker

1910-talsbetong, inklusive äldre betong, benämns ofta som stampbetong. Konstruktionerna saknade vanligtvis armering eller var sparsamt armerade. Betongen göts med en mycket styv konsistens och stampades i formen i lager om 150 – 200 mm [5]. För konstruktioner utsatta för vattentryck innehöll det yttre betonglagret normalt en cementhalt mellan 220 och 240 kg/m³ medan den inre betongen hade en cementhalt på cirka 200 kg/m³. Den inre betongen kompletterades dessutom ofta med tillsats av sparsten för att hålla nere förbrukningen av cement. Gränsskiktet mellan betongkvaliteterna försågs ibland med dräneringsrör [26].

Betongkonstruktionerna kläddes i regel utvändigt med huggen sten efter gjutning. Stenen, samt det fogbruk av hög kvalitet som användes har till stor del bidragit till konstruktionens täthet. Men efterhand som dräneringsrören har kalkat igen och/eller fyllts med cementbruk vid injektering har läckaget genom betongkroppen istället ökat. Detta har föranlett urlakning av betong i områden där avbrott inträffat mellan gjutetapper eller att ett komplicerat gjutförfarande har orsakat gjutuppehåll [26].

Inte sällan är dessa svaghetszoner i konstruktionen horisontella. Erfarenhet har påvisat väldigt blandad betongkvalitet i dessa äldre konstruktioner där upp till 75 % av betongvolymen består av god betong medan cirka 10 % består av kraftigt urlakad och förstörd betong [26].

Användandet av stampbetong började avta under slutet av 1920-talet, eftersom arbetsförfarandet var långsamt och blev för dyrt [5].

1920-talsbetongen utvecklades eftersom den styva stampbetongen var svår att bearbeta. När armerade betongkonstruktioner blev vanligare ställdes också högre krav på god omslutning av armeringsjärnen, vilket fick följderna att betong med lösare konsistens började användas. Denna betong kallas allmänt blötbetong och anses utgöra den första epoken av gjutbetong [5].

Cementhalten var cirka 260 kg/m³ och vattencementtalet låg omkring 1,0. Denna betong drabbades av kraftig separation i formen och kvaliteten blev mycket ojämn. Vid vattentransport genom betongen urlakades den snabbt

och vissa delar av betongvolymen kunde efteråt endast bestå av en blöt och grötig massa. Även oregelbundet placerade håligheter upptill knytnävsstorlek är vanliga och den totala hålrumsvolymen kan uppgå till 10 % [26].

Vid denna tidpunkt var kunskapen om betongens beständighet utifrån förhållandet mellan vatten och cement ej ännu fullständigt utrett. Det höga vattencementtalet bidrog till att betongkonstruktioner uppförda under denna period erhöll en betydligt sämre kvalitet än tidigare betongkonstruktioner [5].

1930-talsbetongen ersatte blötbetongen i och med utvecklandet av den maskinella vibratören. Detta skedde från och med andra halvan av 1930-talet. Således blev det möjligt att gjuta betong med betydligt styvare konsistens trots närvaro av tät armering [5]. Användandet av sparsten började dessutom att minska under 1930-talet.

Till följd av den förbättrade vibreringstekniken kunde betongkonstruktioner av betydligt bättre kvalitet åstadkommas och de systematiska defekter tidigare betongepoker drabbats av kunde minimeras. Betongkonstruktioner från 1930-talet har i mindre utsträckning drabbats av inre skador i betongen. Istället har skadorna vanligtvis varit utvändiga och härstammar primärt från frysning och mekanisk påverkan [26].

1940-talsbetongen bestod till stor del av ett ersättningscement, E-cement, vilket var en blandning av 70 % cement och 30 % fillermaterial [26]. Orsaken till utvecklingen av E-cementet var för att hålla nere stenkolförbrukningen till den energikrävande cementindustrin under andra världskriget.

Förekomst av skador på betongkonstruktioner uppförda med 1940-talsbetong påminner till stor del om de med 1930-talsbetong [26].

1950-talsbetong, inklusive modern betong, har inte påträffats med några systematiska svagheter eller skador i stil med betongepokerna från tidigt 1900-tal [26]. De skador som ändå kan förekomma på dammkonstruktioner härstammar främst från frost, samt kemisk och mekanisk påverkan.

6.2 Skadeorsaker

Vanligt förekommande skador i en betongkonstruktion, vilka kan föranleda reparation med cementinjektering, är sprickbildning och urlakning av cement. Även en kombination av dessa två skadetyper kan förekomma.

- **Urlakning** av betong sker då kalciumhydroxid, Ca(OH)_2 , löses i vatten som strömmar genom betongen. Om betongen är så otät att stora mängder vatten tillåts strömma genom kan kalkförlusterna också bli stora. När majoriteten av kalciumhydroxiden lakats ur börjar andra, ur hållfasthetssynpunkt betydligt viktigare, kalkhaltiga komponenter att brytas ner med följderna att betongens hållfasthet minskar [26]. En urlakad betong kan få en väldigt porös struktur, se Figur 7. Mjukt vatten löser kalk snabbare än hårt vatten [27].
- **Statiska sprickor** i en betongkonstruktion, se Figur 7, kan uppkomma av ett flertal olika anledningar. Några av dessa anledningar kan vara frostsprängning, armeringskorrosion, krympning, alkaliskreaktioner (AKR), sulfatangrepp, sättningar i konstruktionens grundläggning och olyckslast [27].
- **Dynamiska sprickor** kan också uppstå i en betongkonstruktion till följd av ett varierande klimat med stor differens mellan högsta och lägsta temperatur. Stora variationer i fuktillståndet kan också orsaka dynamiska sprickor. Detta medför att spricksystemet och sprickvidden på enskilda sprickor kan skilja från tillfälle till tillfälle. Dynamiska sprickor kan också bildas till följd av dynamiska laster [23].



Figur 7. Borrkärna (55 mm) med urlakad betong och rester av gammalt cementbruk ovanför den urlakade zonen (t.v.). Sprickbildning i betong (t.h.).

7 Projektering

Innan beslut fattas om reparation av en betongkonstruktion med avseende på metodval och omfattning bör först ett tillfredsställande beslutsunderlag utarbetas. Detta underlag bör innehålla en bedömning av konstruktionens aktuella tillstånd, samt beskrivningar av hur, varför och under vilken tid skadan har utvecklats. När dessa frågor är besvarade och cementinjektering framstår som en lämplig reparationsmetod kan nästa del i projekteringen påbörjas – förundersökning, krav på cementbruk och utrustning, upprättande av borrh- och injekteringsplan, samt val av stoppkriterier. Efter slutförandet av nämnda arbetsmoment kan arbetet med förfrågningsunderlaget påbörjas.

7.1 Tillståndsbedömning

Inför en reparation av en skadad betongkonstruktion är det vanligtvis viktigt att utföra en tillståndsbedömning för att kunna välja reparationsmetod. De frågor som bör besvaras under tillståndsbedömningen är:

- Vilken typ av skada som konstruktionen har ådragit sig.
- Hur skadan inverkar på konstruktionens funktion.
- Vilken/vilka bakomliggande skadeorsaker det finns.
- Skadegrad, det vill säga hur omfattande skadan är.
- Hur skadan propagerar i framtiden utan reparationsåtgärd.
- Hur konstruktionen bör åtgärdas för att nå acceptabel status.
- Hur och med vilka tidsintervall konstruktionen bör inspekteras.

Arbetet med att tillståndsbedöma en konstruktion kan ske etappvis, där en inledande enklare förstudie utförs genom exempelvis okulär besiktning eller med enklare provningar. Resultatet blir sedan vägledande för bedömningen om konstruktionen är i behov av reparation eller ej. Bedömningen bör utföras av personal med god kunskap om konstruktionens statiska verkningssätt, nedbrytningsmekanismer, samt typiska skador och reparationsmetoder [26].

Om betongkonstruktionen bedöms vara i behov av reparationsinsatser, samt att cementinjektering framstår som den mest lämpade reparationsmetoden bör en fördjupad tillståndsbedömning, benämnd förundersökning, anpassas för att ge svar på relevanta frågor inför injekteringsarbetet. Detta moment presenteras med större noggrannhet i avsnitt 7.2.

En beskrivning av moment i en tillståndsbedömning av en betongkonstruktion finns i den svenska och europeiska standarden SS-EN 1504-9 [22].

7.2 Förundersökning av betongkonstruktion

Efter ett beslut att reparera en betongkonstruktion genom cementinjektering, bör konstruktionens beskaffenhet kartläggas noggrannare genom utförandet av en förundersökning. Detta för att underlätta planeringen av det kommande injekteringsarbetet, med avseende på val av cementbruk, utrustning och injekteringsmetod. Vanliga metoder att använda vid en förundersökning av en betongkonstruktion är kärnborrning för kärnkartering, vattenförlustmätning, borrhålsfilmning, caliperloggning och olika typer av bomknackning.

Den noggrannare förundersökningen kan antingen utföras separat eller som en del av entreprenaden för det kommande reparationsarbetet.

7.2.1 Kärnkartering

Genom kartering av uttagna borrhärlor kan viktig information erhållas om betongens kvalitet, sprickriktningar, sprickvidder och urlakade partier. Informationen ligger sedan till grund för planeringen av det kommande injekteringsarbetet. För att karteringen ska kunna bidra med användbar information är det viktigt att hantering och dokumentation av borrhärlorna utförs korrekt och systematiskt redan från början [13]. I kommande stycken presenteras viktiga moment inför, under och efter uttag av borrhärlor.

Inför uttag av en borrhärla bör följande uppgifter dokumenteras i protokoll för att underlätta efterföljande arbete att bedöma betongkvaliteten [13]:

- Notera borrhärlans läge i konstruktionen på skiss eller ritning.
- Ange väderstreck vid behov att förtydliga vilken sida av en specifik konstruktionsdel som borrhärlan är uttagen från.
- Ange position i höjd- och längdled (XY-position) utifrån en gemensam referenspunkt ifall flera borrhärlor tas ut i samma konstruktionsdel.
- Ange riktning/vinkel på borrhärlan jämfört med aktuell betongyta på konstruktionen.
- Dokumentera övriga iakttagelser i form av fuktiga ytor, frostsador, kalkutfällningar eller sprickbildningar.

Viktigt är också att säkerställa att borrhärlutrustningen är ordentligt infäst i underlaget eller att borrhärlan står stabilt eftersom stora vibrationer och skakningar annars riskerar att skada borrhärlan. Inför borrhärlningen bör borrhärlstålets gängor smörjas med fett för att underlätta arbetet att ta isär stålet och därmed minska risken för att borrhärlan skadas vid detta moment [13].

Vid uttag av en borrhärna bör följande uppgifter dokumenteras i protokoll för att underlätta efterföljande arbete att bedöma betongkvaliteten [13]:

- Stora förändringar i hastighet på borrhärnkning och/eller spolvattnets tryck, mängd eller färg.
- Trolig eller uppenbar orsak till kärnförlust, exempelvis förekomst av hålrum eller bortspolning av material.
- Aktuellt djup vid övergång mellan betong, berg, jord eller mellan olika delar av konstruktionen.

Viktigt är också att anpassa matningstryck och varvtal om partier med dålig betong påträffas. Vid för högt tryck och varvtal riskerar dålig betong att förstöras och spolas upp ur hålet [13]. Den utförande personalens erfarenhet blir i detta avseende direkt avgörande för resultatet av borrhärnsarbetet.

Efter uttag av borrhärnan bör den fotograferas. Därefter ska protokollet kompletteras med uppgifter om längd på borrhärnan, antalet bitar som borrhärnan består av och hur lång varje bit är. Varje bit av borrhärnan bör dessutom markeras med borrhärnsnummer, djup och riktning mot ytan [13].

Förekomst av armering ska noteras med uppgifter om dimension på järnet och iakttagelser från eventuella korrosionsskador på järnet. Observera att ytrost framträder väldigt snabbt efter avslutad borrhärning och att ytrost inte får förväxlas med rost från pågående armeringskorrosion.

Efter genomförd dokumentation placeras borrhärnan i sin förvaringslåda, se Figur 8. Därefter markeras respektive förvaringslåda med objektsnamn, borrhärnsnummer, total kärnlängd i lådan och lådnummer. Kärnförluster bör markeras tydligt genom iläggande av klossar med motsvarande längd av kärnförlusten. Kärnans djupmarkeringar ska även markeras på lådans kanter med intervall om minst varannan meter [13].



Figur 8. Förvaringslåda för borrhärnor inför kärnkartering.

Besiktning av uttagna borrhärlor ska utföras okulärt genom att klassificera betongens kvalitet enligt Vattenfalls rapport U04:80 eller med hjälp av annan vedertagen anvisning. Klassificeringen i rapport U04:80 utgår från en skala i sju steg där klass 1 motsvarar mycket bra betong, klass 6 motsvarar mycket dålig betong och klass 7 motsvarar kärnförlust [13]. I Tabell 2 presenteras förklaringar till de sju kvalitetsklasserna för borrhärlor.

Tabell 2. Förklaring av de sju kvalitetsklasserna för besiktning av borrhärlor.

Klass	Beskrivning
1	Mycket bra betong som är homogen och helt fri från håligheter och större porer.
2	Bra betong som är relativt homogen och fri från håligheter. Dock finns en del större porer.
3	Medelgod betong med en del håligheter och större porer.
4	Mindre god betong som ej är vattentät. Större håligheter finns.
5	Dålig och mycket otät betong. Många håligheter och porös struktur.
6	Usel betong som knappt håller ihop.
7	Kärnförlust. Partier av borrhärlan har förlorats vid borrhärlningen – kan bero på hålrum i konstruktionen eller att dåligt sammanhängande material av grus och slam har spolats bort vid borrhärlningen.

Dessutom bör även följande sex egenskaper dokumenteras i protokollet [13]:

- Sparsten – stora stenar som användes för att dryga ut betongen. Gränsen för sparsten anses gå vid stenstorlek > 64 mm [13].
- Brunfärg – tecken på att konstruktionen är otät i de fall där humusrikt vatten strömmat genom betongen och färgat densamma brun [13].
- Kalkurlakning – strömmande vatten i en otät betong har fört med sig kalciumhydroxid från cementpastan [13]. Kalciumhydroxiden bildar vita utfällningar på betongen när den kommer i kontakt med luft.
- Armeringsjärn – vid kärnborrhärlning finns stor risk för att armeringsjärn skärs av och vid en del fall ställs krav på att armeringen inte får skadas. Spår av rost ska också noteras [13].
- Cementbruk – kan ge information om hur lyckade äldre och nya injekteringar har varit. Färgat cementbruk används ibland för att underlätta dessa kontroller [13].
- Sprickbildningar – kan innebära att något är fel i konstruktionen.

Lämplig dimension på borrhärlor för kärnkartering är minst 70 mm.

7.2.2 Borrhålsfilmning

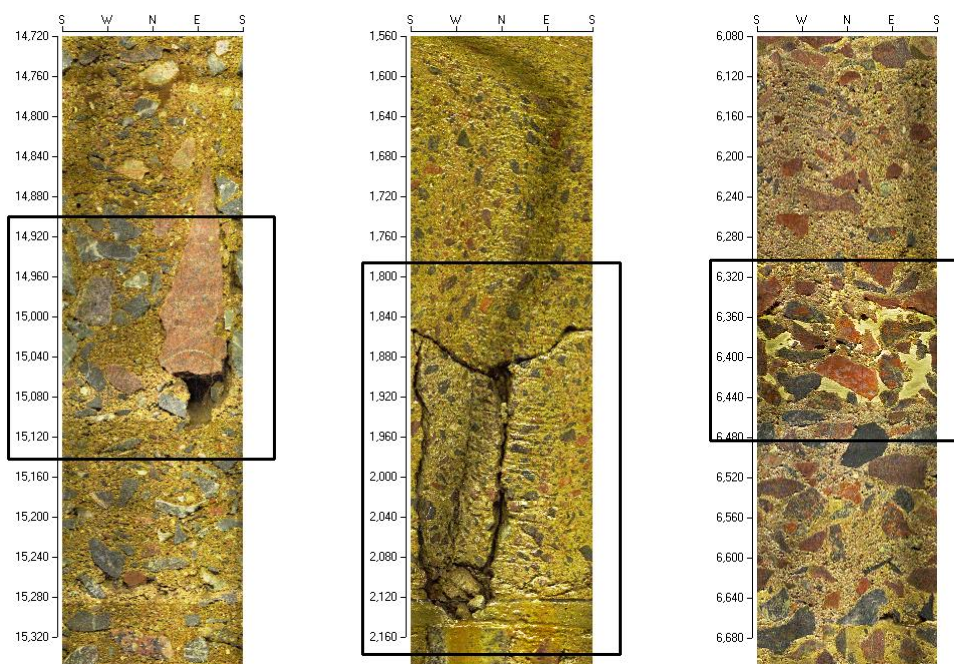
Filmning av borrhål är en teknik och bör betraktas som ett bra komplement till traditionell kärnkartering för att bedöma betongens inre kvalitet i konstruktionen. Resultatet av filmningen är enkel att lagra i sitt digitala format. Teknikens största begränsning ligger dock i att den inte kan ersätta traditionell kvalitetsklassificering av betongen, eftersom detta moment fortfarande kräver uttag och studier av fysiska borkärnor [6].

Den utveckling av kamerateknik och bildbehandling med hög upplösning och korta mättider som har präglat de senaste decennierna har medfört att borrhålsfilmning är intressant även för små och medelstora projekt [6].

I Figur 9 visas ett exempel på resultatet efter en genomförd borrhålsfilmning.

Fördelarna med borrhålsfilmning är att tekniken kan besvara de tveksamheter som uppkommer i samband med den traditionella kärnkarteringen. Några exempel på dessa fördelar presenteras nedan.

- Kan avgöra om sprickor i borkärnor härstammar från konstruktionen eller från oförsiktig hantering under borrhålsarbetet.
- Kan besvara om kärnförluster beror på håligheter i betongen eller om orsaken varit bortspolning av material vid borrhålsarbetet.
- Lägesbestämning av kärnförluster, håligheter, sprickor och urlakade zoner blir mycket exakt.

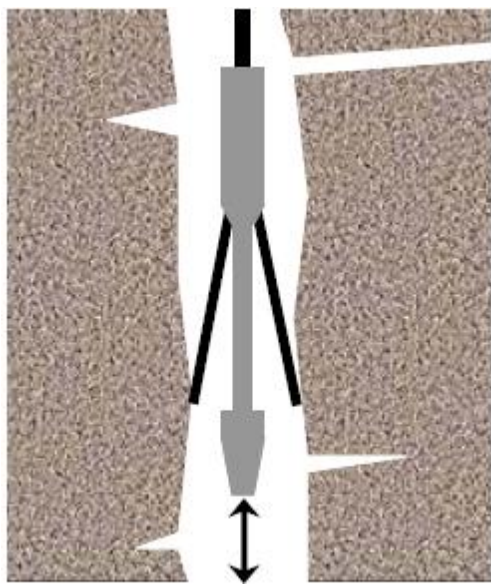


Figur 9. Borrhålsfilmning som visar hålrum (t.v.), sprickor (mitten) och rester av gammalt cementbruk i en betongdamm (t.h.) [13].

7.2.3 Caliperloggning

Caliperloggning är en metod för att mäta variationer i borrhålsdiameter, samt förekomst av hålrum och sprickor [10]. När proben sänks ned i ett hål pressas en eller flera armar ut mot borrhålets vägg, se illustration av prob i Figur 10.

Metodens begränsningar är att den kräver vertikala hål och endast utnyttjar ett eller flera "väderstreck" för mätning. Denna begränsning resulterar i risken att den kan missa avvikelser i övriga riktningar. Ifrågasättande finns även för metodens förmåga att upptäcka väldigt fina sprickor [6].



Figur 10. Illustration av prob för Caliperloggning.

7.2.4 Vattenförlustmätning

Den kanske mest använda tekniken för att insamla värdefull information om betongens beskaffenhet, inför ett injekteringsarbete, är vattenförlustmätning. Tekniken kan jämföras med att injektera vatten i betongkonstruktionen istället för cementbruk. Det primära användningsområdet för tekniken är att erhålla information om betongens täthet [12].

Vattenförlusten i ett borrhål mäts och anges i Lugeon (Lu). Definitionen av Lugeon är flödet i liter per minut och bormeter vid trycket 1 MPa, vilket innebär $1 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{MPa})$ [12]. Vid mätning bör borrhålet först trycksättas och registrering av värden får inte påbörjas förrän ett fortvarighetstillstånd har uppnåtts [24]. Mätningen bör sedan utföras under minst två minuter.

1 Lugeon anses vanligtvis motsvara en tät betong eller ett tätt berg [9].

Genom att variera trycket i en serie, exempelvis 0,1 – 0,3 – 0,5 – 0,3 – 0,1 MPa, och samtidigt mäta eventuell upplyftning av konstruktionen kan information erhållas om vilka tryck betongkonstruktionen kommer att tåla vid injekteringen. Detta utan att befintliga skador förvärras [24].

I följande punkter visas den fakta som kan erhållas om en betongkonstruktion genom vattenförlustmätning:

- Ger övergripande information om betongens täthet.
- Kan mäta enskilda sprickors eller svaghetszoners vattenföring vid användande av dubbelmanschetter.
- Påvisar om samband mellan olika borrhål finns. Tekniken kan därmed bidra till att injekteringsarbetet kan planeras med större noggrannhet.
- Genom trycksättning av betongkonstruktionen kan information erhållas om vilka injekteringstryck som kan användas utan risk för upplyftning av konstruktionen eller förvärrande av redan existerande skador.
- Kan eventuellt utgöra en del av beslutsunderlaget inför valet av borrhålsavstånd som är lämpliga inför injekteringsarbetet.

Vattenmätaren som används bör ha en kapacitet om minst 60 liter i minuten. Beroende på vilket vattentryck betongkonstruktionen ska trycksättas med kan det eventuellt finnas ett behov av kompletterande pumputrustning. Vanligtvis överstiger inte trycket normalt vattenledningstryck [27]. Dock ska det alltid finnas utrustning för att kunna reglera och hålla trycket på en konstant nivå.

7.3 Design av cementbruk

Inför design av ett cementbruk uppkommer ofta ett motsatsförhållande i de egenskaper på cementbruket som bör prioriteras. Det grundläggande syftet med ett injekteringsarbete är som tidigare har konstaterats att förbättra eller förlänga livslängden för en betongkonstruktion. Således bör cementbruk med god beständighet väljas. Den mest avgörande faktorn för god beständighet är ett lågt vattencementtal, vct. Men inte sällan innebär också god beständighet på ett cementbruk att dess förutsättningar att tränga in i betongen försämras. Valet av cementbruk kommer därmed att präglas av kompromisser [15].

För att uppnå ett lyckat resultat från injekteringsarbetet är det lika viktigt att cementbruket hamnar där det ska som att det blir beständigt. I detta avseende är cementbrukets flyt- och inträngningsegenskaper centrala. I Tabell 3 presenteras önskade egenskaper på cementbruket, beroende på karaktären hos de fina eller grova sprickorna och håligheterna som behöver injekteras. De egenskaper på cementbruket som primärt är av intresse är flytgräns, viskositet, filtreringsstabilitet och separationsbenägenhet.

En god utgångspunkt för design av cementbruket kan vara erhållna resultat från genomförd tillståndsbedömning och förundersökning av konstruktionen.

Tabell 3. Prioriterade egenskaper hos cementbruk med avseende på olika hållighets- och sprickviddsintervall. (++) innebär stor betydelse, (+) viktig och (-) mindre betydelse. Tabell hämtad och modifierad från [12].

	Önskad egenskap	Fina sprickor ≤ 0,1 mm	Medel	Grova sprickor ≥ 0,3 mm
Bruk	Hög flytgräns	-	-	+
Bruk	Låg viskositet	++	++	+
Bruk	God filtreringsstabilitet	++	+	-
Bruk	Låg separation	-	+	++

Genom att variera cementtyper, vct och tillsatsmedel kan cementbrukets egenskaper förbättras. I Tabell 4 presenteras inverkan på dessa egenskaper utifrån en sänkning av vct, samt tillsats av flytmedel eller accelerator.

Flytmedel är det i särklass vanligaste tillsatsmedlet vid injekteringsarbeten. Fördelen med flytmedlet är att det belägger cementkornen med samma elektriska laddning, vilket medför att cementkornen stöter bort varandra. Flytmedlet underlättar blandningen eftersom cementkornen skiljs åt och senare hindrar dem från att klumpa ihop sig och bilda större partiklar under injekteringen. Flytmedlet fungerar således som ett smörjmedel [15].

En accelerator tillsätts cementbruket för att åstadkomma ett snabbare hårdnande eller tillstyvnande genom att påverka cementets reaktion med vattnet. Det är dock mycket viktigt att doseringen sker noggrant eftersom feldosering kan ge upphov till okontrollerbara effekter [15].

Kloridbaserade acceleratorer bör inte användas, eftersom de kan initiera armeringskorrosion och således äventyra konstruktionens beständighet.

Tabell 4. Översikt av hur förändringar i ett cementbruk påverkar uppmätta egenskaper. (+) innebär en liten ökning av värdet, (++) innebär en måttlig ökning och (+++) innebär en kraftig ökning. För minustecken gäller omvänt förhållande. Tecken inom parantes avser att resultaten varierar mellan olika recept. Tabell hämtad och modifierad från [12].

	Viskositet	Flytgräns	Filtrerings- stabilitet	Separation	Bindetid
Sänkning av vct	+++	+++	+	- - -	- -
Tillsats av flytmedel	- (-)	- -	-	+	++
Tillsats av accelerator	+	+	+ (+)	0	- - -

Inför design eller upprättande av kravprofil på cementbruk bör bland annat följande aspekter beaktas:

- Bakomliggande orsak till att konstruktionen behöver injekteras.
- Vilka funktionskrav som framöver ska ställas på konstruktionen.
- Resultat från genomförd förundersökning av konstruktionen.
- Utgå från eventuella kravspecifikationer i förfrågningsunderlaget.
- Att det vanligtvis kommer att krävas minst två olika cementbruk i syfte att ha beredskap inför varierande förhållanden i konstruktionen.
- Att använda cement som uppfyller krav enligt SS-EN 197-1 del 1: Cement – Sammansättning. Eventuella undantag från standarden ska tydligt redovisas inklusive den inverkan det kan få på resultatet.
- Att använda tillsatsmedel ska ge förväntad effekt i kombination med varandra, samt med val av aktuell cementtyp.
- Design av cementbruk bör baseras på en kombination av erfarenhet och förprovning. Således kan cementbrukets förväntade egenskaper verifieras och utvärderas innan injekteringsarbetet påbörjas.

Vanligt förekommande orsaker till cementinjektering är för att höja betongens täthet och/eller hållfasthet. I de flesta fall räcker det med ett ordinärt cementbruk för att kunna uppfylla de ställda kraven på injekteringen. I vissa fall kan det dock krävas cementbruk med väldigt specifika egenskaper eller där ställda krav på cementbrukets egenskaper är ovanligt stränga. I andra fall kan betongens beskaffenhet arta sig på ett sätt att ett enda cementbruk inte kan uppfylla samtliga krav. I detta fall bör ytterligare cementbruk designas.

Genom att noggrant föreskriva hur cementbruken ska användas kan deras egenskaper utnyttjas framgångsrikt. Exempelvis kan ett tunt cementbruk med relativt högt vct användas inledningsvis för att fylla ut de minsta håligheter och sprickorna. Detta cementbruk efterföljs av ett något tjockare cementbruk som fyller ut större håligheter och sprickor. Eventuellt kan även ett tjockt cementbruk användas för att volymmässigt fylla ut de största hålrummen. Samtidigt pressas de tunnare cementbruken allt längre ut i konstruktionen.

Det är upp till projektören att välja egenskaper på de cementbruk som behövs inför injekteringen och därefter föreskriva hur cementbruken ska användas vid arbetet. På detta sätt kan förutsättningarna för ett bra resultat förbättras.

7.3.1 Cementbruk för tätande syfte

För att uppnå en vattentät betongkonstruktion blir således cementbrukets permeabilitet och dess beständighet mot urlakning avgörande för vilket cementbruk som ska väljas. Vid ett vct överstigande cirka 0,7 bildas ett

sammanhängande porsystem, vilket då kan tillåta vattentransport genom cementbruket. Detta ökar risken för framtida urlakning av betongen [6].

Ett cementbruk med lägre vct skulle däremot öka möjligheten för en tät och beständig reparation. Men val av ett cementbruk med lägre vct erhåller samtidigt betydligt sämre flyt- och inträngningsegenskaper, vilket försvårar injekteringsarbetet. Problemet med sämre flyt- och inträngningsegenskaper kan dock kringgås genom tillsats av lämpligt flytmedel [15].

Exempelvis kan ett rent cementbruk med vct 1,0 ersättas av ett cementbruk med tillsats av flytmedel med ett vct mellan 0,55 och 0,60 [15]. Det senare cementbruket behåller ändå liknande egenskaper i färskt tillstånd som cementbruket med ett betydligt högre vct.

För slutligt val av cementbruk bör förprovning utföras i syfte att dokumentera cementbrukets egenskaper och lämplighet för den aktuella konstruktionen, se vidare i avsnitt 7.4.

7.3.2 Cementbruk för hållfasthetshöjande syfte

Vid ett renodlat syfte att endast höja hållfasthetsklassen på betongen i en konstruktion kan avsteg från principen om god beständighet mot urlakning tillåtas. Således kan användning av andra cementbruk komma i fråga där egenskaper i form av goda flyt- och inträngningsegenskaper prioriteras.

Precis som för cementbruk med tätande syfte bör det slutliga valet av cementbruk baseras på förprovning, se avsnitt 7.4.

7.3.3 Cementbruk med övriga syften

Eftersom en betongkonstruktion i behov av reparation och förstärkning sällan är homogen kan det därmed finnas olika stora sprickor och/eller håligheter som behöver fyllas ut med cementbruk.

Fina sprickor och håligheter kräver vanligtvis ett finmalt cement medan det för större håligheter fungerar lika bra med ett standardcement som dessutom är billigare vid inköp [6]. Föreligger det risk för bortspolning av cementbruket innan det har hunnit härda kan ett accelererande tillsatsmedel användas. Det är dock viktigt att säkerställa att det accelererande tillsatsmedlet fungerar som tänkt och inte medför några negativa effekter på konstruktionens beständighet. Ett exempel på en negativ effekt är att accelererande tillsatsmedel innehållande kloridjoner kan orsaka korrosion på armeringen.

7.4 Förprovning

Vid stora och/eller viktiga injekteringsarbeten bör alltid förprovning utföras för att fastställa cementbrukets egenskaper. Förprovningen ska ligga till grund för valet av ett eller flera cementbruk med önskade egenskaper och som fungerar i den betongkonstruktion som ska injekteras. Dessutom måste cementbruket fungera tillsammans med den utrustning, särskilt slangar och pumpar, som ska användas vid injekteringen. Några vanliga egenskaper att undersöka vid förprovning är bindetid, filtreringsstabilitet, flytgräns, skjuvhållfasthet, vattenseparation, viskositet, volymförändring och lämplig blandningstid [25].

För att prova ovanstående egenskaper finns det fastställda standardiserade provningsmetoder att använda, vilka också bör användas vid en förprovning. I Tabell 5 redovisas vilka standarder som används för respektive egenskap som önskas provas hos cementtypen eller cementbruket.

Tabell 5. Sammanställning över egenskaper på cementbruk som kan provas inför ett kommande injekteringsarbete.

Provad egenskap	Provningsmetod	Metodbenämning
Bindetid	VICAT, SS-EN 196-3	Vicat-nål
Filtreringsstabilitet	SS-EN 14497	Filterpump
Flytgräns och viskositet	DIN 53 019	-
Skjuvhållfasthet	SS 02 71 25	Fallkon
Vattenseparation	SS 13 75 40	-
Viskositet & flytgräns	API 13-B	Marshkon
Volymförändring	SS 13 75 40	-

Viktigt att komma ihåg vid förprovning av cementbruk är att provningsresultat framtagna i en "ideal" miljö kan visa på andra egenskaper än de egenskaper som senare uppnås i den blandare som används i fält. Även temperatur och vattenkvalitet kan ha inverkan på resultatet. Effekter av dessa skillnader ska finnas i åtanke vid tolkning och användning av provningsresultat [6].

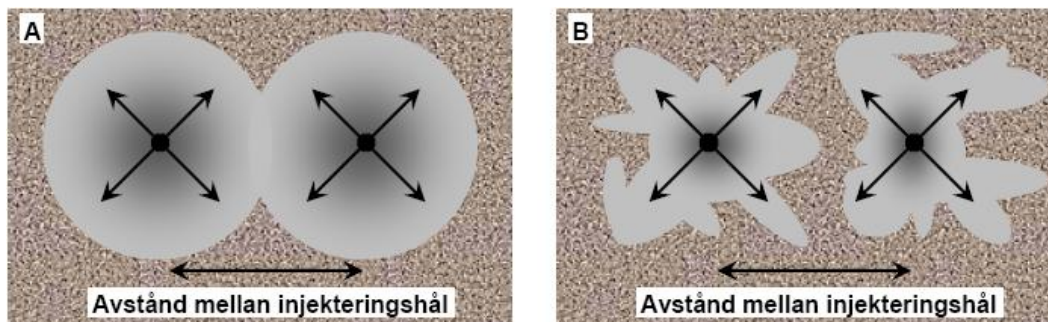
Ett sätt att minska osäkerheten kring provningsresultaten är att använda den aktuella "fältblandaren" redan vid förprovningen. För större arbeten bör detta vara ett krav. Användandet av "labblandare" bör endast vara i syftet att fastställa vilka blandningar som är värda att gå vidare med till förprovningen.

7.5 Borr- och injekteringsplan

Tidigare fanns det inte någon enkel metod att använda för bestämning av det avstånd som behövdes mellan injekteringshål för att uppnå ett lyckat resultat. Istället grundade sig ofta upprättandet av borr- och injekteringsplan på erfarenhet hos aktuell projektör och utförare utifrån information från förundersökningen av konstruktionen. Inte sällan brukade därefter borr- och injekteringsplanen få revideras under den inledande fasen av arbetet. Detta eftersom de inledande resultaten från injekteringen avvek från de förväntade.

Det ovan beskrivna händelseförloppet exemplifierar hur svårt det är att förutsäga vilka förhållanden som råder i betongkonstruktionen, varför det har varit av stor vikt att med omsorg välja den entreprenör som skulle utföra arbetet i fält. Under början av 2000-talet utvecklades däremot en ny teknik för att med hjälp av teoretiska modeller kunna beräkna och designa borr- och injekteringsplan vid berginjektering. Denna teknik bör även vara möjlig att tillämpa vid en del fall av cementinjektering av betong, se vidare i avsnitt 7.9.

Vid injektering i en konstruktion med dålig betong, bestäms avståndet mellan två hål primärt av cementbrukets förmåga att tränga ut i betongen – för att fylla sprickor och håligheter. Under ideala förhållanden erhålls ett jämnt spridningsförlopp av cementbruk och all betong mellan två injekteringshål förbättras, se bild till vänster i Figur 11. Det har dock ofta visat sig att verkligheten är annorlunda och spridningen av cementbruket har varit svår att förutsäga. Ett alltför stort avstånd mellan hålen kan då innebära att delar av betongen mellan hålen förblir dålig och otät, se bild till höger i Figur 11.



Figur 11. Ideal spridning av cementbruk kring injekteringshål (A). Verkligt spridningsförhållande i injekteringshål (B). Illustration hämtad från [6].

7.5.1 Val av borrhålsavstånd

Det klassiska dilemma vid projektering av borr- och injekteringsplan är att desto tätare borrhålen placeras ju dyrare kommer arbetet att bli i form av borrhning, materialåtgång och tidsåtgång. Ifall borrhålen placeras glesare innebär det istället en ökad risk för att konstruktionen inte uppnår den

kvalitet som önskas. Således finns det två huvudsakliga synsätt att utgå ifrån vid upprättandet av en borrhåls- och injekteringsplan:

- Att planera korta borrhålsavstånd (0,5 – 1,0 meter) och förutsätta att bara en injekteringsomgång räcker för att uppnå fullgod kvalitet.
- Att planera längre borrhålsavstånd (> 1,0 meter) och i efterhand komplettera, där behov finns, med en andra och kanske till och med en tredje injekteringsomgång innan fullgod kvalitet uppnås. Avgörande för behovet av ytterligare injekteringsomgångar är de krav som har ställts på konstruktionen.

Följande exempel på borrhålsavstånd ska endast betraktas som vägledande, eftersom de bygger på för projekten specifika krav, vattenförlustmätningar, samt använda cementbruk och injekteringsstryck. Dock representerar de följande borrhålsavstånden erfarenheter från ett flertal injekteringsarbeten av urlakad betong mellan åren 1985 och 2011:

- "En äldre dammkonstruktion med kraftigt urlakad betong krävde ett borrhålsavstånd i intervallet 0,5 meter till 1,0 meter. Generellt sett uppnåddes goda resultat vid 0,5 meters avstånd, medan ett ökande avstånd medförde större risk för varierande resultat."
- "I en mindre allvarligt urlakad äldre betong, kunde ett borrhålsavstånd på cirka 1,0 meter vara tillräckligt för att uppnå ett fullgott resultat."
- "Ett vanligt borrhålsavstånd i första omgången var 1,0 meter."
- "I en ojämnt urlakad äldre betongkonstruktion inleddes arbetet med borrhålsavstånd på 2,0 meter, varefter det successivt halverades till 1,0 meter i omgång två och 0,5 meter i omgång tre. Ominjektering skedde endast på de platser i konstruktionen där ställda krav ej hade uppfyllts av föregående injekteringsomgång. I aktuellt fall skedde utvärderingen genom förnyad vattenförlustmätning och kärnkartering."
- "Föreskrivna krav på borrhålsavstånd var svåra att uppfylla på grund av tät armering i konstruktionen. Borrhålsavståndet varierade därför."

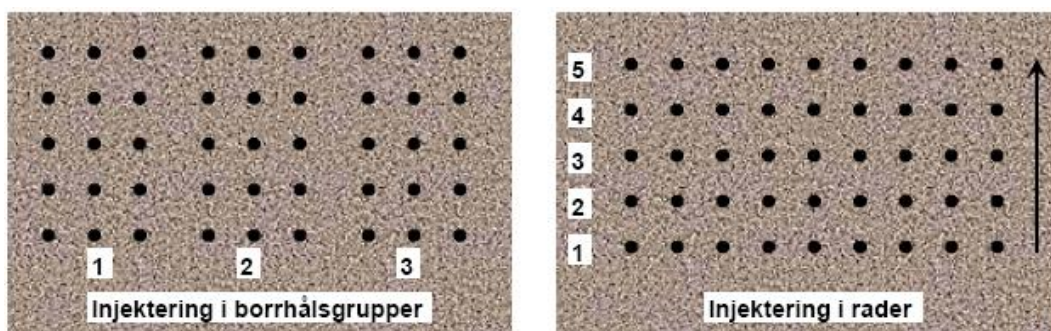
För uppspruckna betongkonstruktioner finns det inte liknande erfarenheter att tillgå för bedömning av lämpliga borrhålsavstånd. Det avstånd som slutligen väljs, och som visar sig fungera, är istället starkt beroende på sprickans eller sprickzonens beskaffenhet. Dessutom kan funktionen på konstruktionen vara avgörande. En kraftöverförande spricka kan kräva betydligt mer omfattande injektering än en spricka som endast behöver tätas.

Vid upprättandet av en borrhåls- och injekteringsplan är det viktigt att ta hänsyn till ifall det finns tillräckligt utrymme vid respektive hål för den utrustning som krävs vid borrhåls- och/eller injektering.

7.5.2 Injektering i grupper eller rader

Injektering av en större betongkonstruktion kan utföras på två sätt – injektering i hålgrupper eller i hålrader. Vid injektering i hålgrupper anpassas borrhåls- och injekteringsplanen så att det blir möjligt att hinna injektera en eller flera hålgrupper per arbetsdag, se Figur 12. Storleken på en hålgrupp bör dock aldrig vara så stor att det blir tidspressat att hinna med hela hålgruppen på en arbetsdag. En för stor hålgrupp och samtidig tidspress kan orsaka slarv och ett sämre slutresultat.

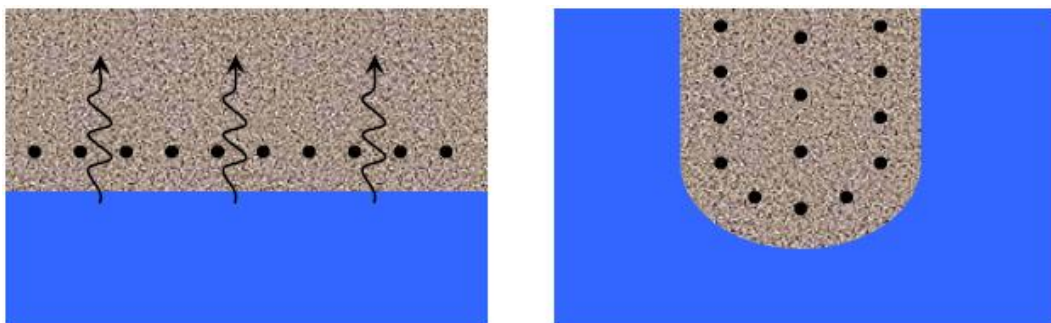
Alternativet till injektering i hålgrupper är injektering i hålrader. I detta fall injekteras konstruktionen i horisontella rader med riktning från den nedre delen till den övre delen av konstruktionen, se Figur 12.



Figur 12. Principiell skiss på tillvägagångssätt vid injektering i en vanlig konstruktion. Injektering i borrhålsgrupper (t.v.). Injektering i rader (t.h.).

Vid injektering av en urlakad konstruktion med ensidigt vattentryck är det viktigt att skapa en tät skärm som förhindrar fortsatt vattenläckage genom konstruktionen, se Figur 13. Injekteringen kan utföras med en enkel hålrad på ett avstånd om minst 0,75 – 1,0 meter från konstruktionens kant. Vid mindre avstånd till kanten finns det en risk för onödigt läckage av cementbruk eller att betong spräcks loss för att dess hållfasthet överskrids. På grund av att nyttjandegraden av betongens bärförmåga vanligtvis är låg räcker det ofta med en enkel hålrad vid injektering av en urlakad konstruktion.

När en konstruktion omgiven av vatten på samtliga sidor behöver injekteras, bör den täta skärmen omsluta hela konstruktionen. Finns dessutom krav på en minsta tillåten hållfasthet för betongen kan konstruktionen också behöva injekteras i de inre delarna för att uppnå de krav på bärförmåga som konstruktionen förutsätts att ha, se Figur 13. Injekteringen kan då även betraktas som en hållfasthetshöjande åtgärd. Precis som tidigare nämnts bör avståndet mellan hålraden och kanten till konstruktionen ligga mellan 0,75 och 1,0 meter för att undvika uppspräckning av betongen.



Figur 13. Principiell skiss vid tätning av mur med ensidigt vattentryck (t.v.). Principiell skiss vid tätning och förstärkning av pelare i vatten (t.h.).

7.6 Val av stoppkriterier

En vanlig frågeställning att behandla inför ett injekteringsarbete är att avgöra när injekteringen i ett borrhål ska avslutas, det vill säga vilket stoppkriterium som ska tillämpas. Valet av stoppkriterium kan nämligen ha stor inverkan på injekteringsresultatet. Till hjälp för att avgöra frågeställningen kan något av följande ideala stoppkriterier användas:

- Minsta flödeskriterium – injekteringen avbryts då flödet är lägre än ett i förväg bestämt värde [12].
- Maximalt volymkriterium – injekteringen avbryts när en i förväg bestämd volym cementbruk har injekterats [12].
- Minsta tidskriterium – injekteringen baseras på teoretiska modeller för cementbrukets inträngning. Injekteringen avbryts då cementbrukets inträngning i de minsta sprickorna nått ett förutbestämt minsta värde eller att cementbrukets inträngning i de största sprickorna nått ett förutbestämt största värde [20].
- Maximalt tidskriterium (mindre vanligt förekommande) – injekteringen avbryts när en i förväg bestämd tidsrymd passerat. Kan tillämpas vid fall när osäkerheter föreligger om ytläckage i ej åtkomliga delar av konstruktionen. Således undviks onödigt stor åtgång på cementbruk.

Ofta är dock det fastställda stoppkriteriet en kombination av ovan nämnda idealfall. Ett tänkbart stoppkriterium är att injekteringen ska fortgå under en förutbestämt tidsrymd. Men injekteringen får avslutas i förtid, inom denna tidsrymd, ifall något av följande villkor är uppfyllda – inget registrerat flöde under x antal minuter eller att injekterad volym överstiger ett förutbestämt värde på x antal kg cementbruk per meter borrhål.

7.7 Val av injekteringstryck

Val av maximalt tillåtet injekteringstryck bör baseras på konstruktionens beskaffenhet och hållfasthet. Vid osäkerhet bör en konstruktör anlitas för bestämning av maximalt injekteringstryck med avseende på risken för uppspräckning eller upplyftning av konstruktionen. Erfarenhetsmässigt ligger vanliga injekteringstryck i betongkonstruktioner mellan 0,1 och 0,5 MPa.

Om injekteringen sker under vattentryck måste injekteringstrycket anpassas efter aktuellt vattentryck vid manschettens läge. Detta för att säkerställa att det valda injekteringstrycket (övertrycket) uppnås i cementbruket och således möjliggör önskad inträngning i betongen.

7.8 Val av injekteringsutrustning

För beskrivning av lämplig utrustning till injekteringsarbeten, se avsnitt 9.

7.9 Teoretisk design av injektering

I ett försök att minska osäkerheterna vid injekteringsarbeten utvecklades ett nytt angreppssätt för projektering av berginjektering under början av 2000-talet. Genom att använda teoretiska modeller skulle projekteringen av borrhållsplan, stoppkriterier och injekteringstryck systematiseras och på så sätt leda till ett förbättrat slutresultat [14]. Även om angreppssättet har utvecklats för projektering av injektering av sprucket berg bör det också vara tillämpligt för projektering av injekteringsarbeten av betong.

En enklare beskrivning av arbetsstegen i det nya angreppssättet innebär att förundersökningarna av betongkonstruktionen även framöver ska utföras på ett konventionellt sätt med kärnkartering och vattenförlustmätning. Genom att sedan beskriva sprickvidder och sprickviddsfördelningen kan lämpliga cementbruk utvecklas och deras egenskaper bestämmas. Med hjälp av denna information tillsammans med valda injekteringstryck och injekteringstider kan sedan cementbrukens inträngning beräknas. Utifrån inträngningsförmågan på cementbruken kan därefter ett lämpligt borrhållsavstånd bestämmas [14].

I skrivande stund pågår ett omfattande injekteringsarbete av en kraftigt urlakad betongkonstruktion från tidigt 1900-tal där det ovan beskrivna angreppssättet har tillämpats vid projekteringen. Vunna erfarenheter har dock visat att angreppssättet i dess nuvarande form ej varit fullt ut tillämpligt för det aktuella projektet. Gissningsvis kan det bero på att egenskaperna i den urlakade stampbetongen markant skiljer sig från egenskaperna i en enbart uppsprucken betong, vilken dessutom bättre skulle spegla ett sprucket berg.

8 Upphandling av injekteringsarbete

Tydlighet och noggrannhet i utformningen av ett förfrågningsunderlag inför upphandlingen av ett injekteringsarbete har stor betydelse för att beställare och entreprenör ska kunna dela samma syn på ambitionsnivån för arbetets utförande och resultat. Följden blir att båda parter strävar mot samma mål.

Beroende på vald entreprenadform kan förfrågningsunderlaget innehålla olika detaljerade beskrivningar av förutsättningar, krav och tillvägagångssätt.

Givetvis ska förfarandet vid upphandling följa gällande svensk lagstiftning.

8.1 Entreprenadformer

Det vanligaste förfarandet vid upphandling av ett injekteringsarbete är att beställaren skickar ut ett förfrågningsunderlag för anbudsräkning till lämpliga entreprenörer. Intresserade entreprenörer summerar sedan sina kostnader för att kunna lämna anbud på entreprenaden. Efter anbudstidens utgång väljer beställaren entreprenör. Denna entreprenadform kallas utförandeentreprenad.

Ett lämpligt innehåll i förfrågningsunderlaget bör vara en teknisk beskrivning av rådande förutsättningar för arbetet, sammanlagd omfattning av arbetet, förutbestämda krav på injekteringen och entreprenören, krav på miljö- och riskhantering, samt krav på hur eventuella avvikelser ska hanteras.

Vid en utförandeentreprenad arbetar entreprenören efter underlag framtagna av beställaren, vilket innebär att det är beställaren som uppbär risken för projektets genomförande så länge entreprenören följer givna anvisningar.

Beställaren kan däremot överlåta det samlade ansvaret för projektering och utförande på entreprenören genom upphandling av en totalentreprenad. I detta fall överlämnar beställaren endast enklare handlingar för krav på framtida funktion hos konstruktionen. Därefter är det upp till entreprenören att projektera arbetets genomförande med syfte att nå beställarens krav. I detta fall uppbär entreprenören också risken för projektets genomförande.

Ett tänkbart alternativ till de två ovan beskrivna entreprenadformerna är att injekteringsarbetet projekteras och upphandlas i samverkan mellan beställare och entreprenör. Detta förfarande är möjligt i fallet att det redan finns en etablerad relation mellan beställare och entreprenör eller att projektets omfattning och komplexitet kräver entreprenörens specifika kunskap.

8.2 Teknisk beskrivning

Ett förfrågningsunderlag bör innehålla en kort och koncis teknisk beskrivning av vilka förutsättningar som råder för den aktuella betongkonstruktionen. Den tekniska beskrivningen kan med fördel utföras i punktform. Nedan visas ett enkelt förslag på lämpligt innehåll i ett förfrågningsunderlag:

- Vilken typ av konstruktion som avses.
- Vilka funktionskrav som finns på den aktuella konstruktionen.
- Vad finns i konstruktionens direkta närhet eller omgivning.
- Finns det särskilda begränsningar för arbete i konstruktionen.
- Är konstruktionen i behov av tillfällig förstärkning under arbetet.
- Bedrivs arbetet inom- eller utomhus, i vatten eller i torrhet.
- Finns det begränsningar vid vilket väder arbetet kan utföras.
- Erfordras byggställningar för arbetets utförande.
- Erfordras förstärkt ventilation för arbetets utförande.
- Finns det begränsningar i vilken utrustning som kan användas.
- Förhållanden för vatten- och elförsörjning på platsen.
- Möjligheter för hur överblivet material kan tas omhand och deponeras.

Inför upphandling av en utförandeentreprenad kan en teknisk beskrivning förslagsvis upprättas med stöd av AMA Anläggning 10, se avsnitt 8.9.

8.3 Omfattning på injekteringsarbetet

Bedömd omfattning av injekteringsarbetet ska ingå i förfrågningsunderlaget. Omfattningen kan redovisas genom tillhandahållande av ritningar med borrhåll och injekteringsplan, inklusive tillhörande mängdförteckning.

I den bifogade mängdförteckningen bör det minst ingå uppgifter om:

- Antal borrhål, samt totalt antal meter borrhål för utförande av vattenförlustmätning, enligt avsnitt 7.2.4.
- Antal borrhål och totalt antal meter borrhål för kärnkartering.
- Antal meter borrhåll för kärnkartering, enligt avsnitt 7.2.1.
- Förprovning av lämpliga cementbruk.

- Fortlöpande provning av cementbrukets egenskaper.
- Antal borrhål och totalt antal meter borrhål per injekteringsomgång.
- Bedömd åtgång av mängden cementbruk i konstruktionen.
- Bedömd tidsåtgång för injekteringsarbetet.
- Eventuell väntetid då arbete ej kan utföras.
- Efterkontroll av erhållen kvalitet på injekteringsarbetet.

8.4 Krav på injekteringsarbetet

För att uppnå ett lyckat resultat vid injekteringsarbeten är det viktigt att sammanställa en lista med krav, dels för konstruktionens funktion, samt dels för utrustning och cementbruk. Injekteringsarbetet kan sedan godkännas eller underkännas genom att uppnådda resultat relateras till dessa krav.

Ställda krav ska så långt som möjligt utgöras av absoluta kriterier, vilket minskar utrymmet för subjektiv bedömning om vad som ska godkännas eller ej. Listan med krav kallas för kravspecifikation. Några vanligt förekommande krav på injekteringsarbeten sammanfattas i följande punkter:

- Krav på betongens funktion – värden på täthet och/eller hållfasthet.
 - Täthet uttrycks i högsta acceptabla vattenförlust.
 - Hållfasthet uttrycks i lägsta acceptabla tryckhållfasthet.
- Krav på betongkvalitet – kan utföras enligt avsnitt 7.2.1.
 - Lägsta acceptabla kvalitetsklass för godkännandet av arbetet.
 - Krav på eventuellt minst fördelaktig procentfördelning mellan olika kvalitetsklasser för godkännandet av arbetet.
- Krav på egenskaper hos det eller de cementbruk som ska användas.
 - Krav på inträngningsförmåga med hjälp av $b_{\min}$ och b_{kritisk} .
 - Krav på flytgräns.
 - Krav på viskositet.
 - Krav på tryckhållfasthet.
 - Krav på vattencementtal.
 - Krav på acceptabel vattenseparation.
 - Krav på längsta acceptabla tid för cementbruket i omröraren.
- Krav på förprovning, fortlöpande provning och efterkontroll, se vidare i avsnitt 7.4, 11.2.2 och 11.2.3.
- Krav på dokumentation, se avsnitt 11.2.1.

- Krav på den utrustning som ska användas, se avsnitt 9.
- Krav på arbetsmiljö, samt miljö- och riskhantering, se avsnitt 12.

8.5 Krav på entreprenören

Även om det i dagsläget inte finns några formella kompetenskrav på den entreprenör eller de personer som ska utföra ett injekteringsarbete, vore det ändå önskvärt att framöver kunna ställa krav på att entreprenören, och av entreprenören anlitad personal, är bekant med de material och den utrustning som ska användas. Detta skulle kunna säkerställas genom upprättandet av en introduktionskurs i injektering med såväl teoretiska som praktiska moment.

I ett längre perspektiv bör även personcertifiering av injekteringsoperatörer bli aktuellt. Entreprenören borde dessutom åläggas med att kunna uppvisa dokumenterad erfarenhet från tidigare utförda injekteringsarbeten.

8.6 Riskhantering

Riskhantering inför ett injekteringsarbete bör huvudsakligen beröra risken för personskador och risken för att arbetets resultat inte blir det förväntade.

Vid risk för personskador kan en lista med identifierade risker upprättas. Några exempel på dessa är risken för fall, buller, slangbrott, vibrationer, otillräcklig ventilation, damm, kontakt med hälsovådliga kemikalier etc.

För ytterligare information om säkerhet och hälsa, se avsnitt 12.1 och 12.2.

Vid risk att arbetets resultat inte blir som förväntat kan identifierade punkter också sammanfattas i en lista. Några exempel på tänkbara risker är dålig beredskap för oväntade förhållanden i konstruktionen, att utrustningen eller cementbruken inte fungerar på avsett vis, att den ursprungliga planeringen för tidsåtgång, kostnad eller tekniskt utförande inte kan efterföljas etc.

Även risken för påverkan av den omgivande miljön vid utsläpp bör bedömas.

8.7 Miljöhänsyn

Förfrågningsunderlaget ska tydligt redovisa ansvarsfördelningen när det gäller miljöpåverkan i form av vattenrening, hantering av borrhax, samt utsläpp och läckage av ämnen i mark och vatten.

Det ska även framgå hur eventuell miljöpåverkan ska förhindras.

För ytterligare information om miljöarbete, se avsnitt 12.3.

8.8 Lagstiftning, regelverk & normer

Det enda formella krav som i dagsläget kan ställas är att entreprenören ska följa gällande svensk lagstiftning, se avsnitt 12. Krav på att entreprenören ska följa övriga regelverk och normer bör också ställas.

8.9 Förfrågningsunderlag

Det praktiska arbetet att upprätta ett förfrågningsunderlag kan med fördel utföras med stöd av AMA Anläggning 10, inklusive tillkomna kompletteringar enligt AMA-nytt. AMA står för Allmän material- och arbetsbeskrivning. AMA Anläggning 10 är framtagen med syftet att utgöra underlag för upprättandet av tekniska beskrivningar vid anläggningsarbeten. Dessutom kan arbetet att formulera beställarens krav på den färdiga produkten förenklas [1].

AMA Anläggning 10 är redigerad efter den så kallade pyramidregeln, det vill säga att den är ordnad i en hierarkisk struktur med koder och rubriker. Nedan följer ett exempel på hierarkin i AMA Anläggning 10, vilket dessutom i detta fall är relevant för cementinjektering av betongkonstruktioner:

E	Platsgjutna konstruktioner
EB	Platsgjutna konstruktioner i anläggning
EBJ	Injekteringar i betongkonstruktion i anläggning
EBJ.2	Injektering vid reparation
EBJ.21	Injektering av sprickor vid reparation
EBJ.22	Injektering av håligheter mm vid reparation

Beskrivningen för en viss entreprenad kan byggas upp dels av texter hämtade ur AMA och dels av texter som projektören själv skriver. Text i AMA åberopas genom att respektive kod med tillhörande rubrik anges i beskrivningen [1].

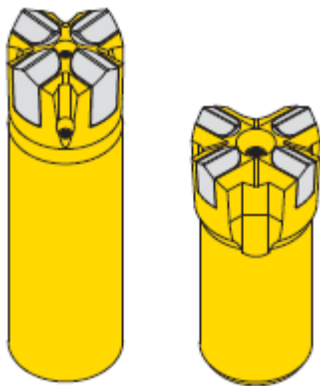
9 Utrustning

9.1 Val av borrarutrustning

Vid val av borrarutrustning inför förundersökning och injekteringsarbete finns det två huvudsakliga borrar metoder att välja mellan. Dessa är hammarborrning och kärnborrning. Vad som skiljer metoderna åt är deras olika verkningssätt, men framför allt deras för- och nackdelar vilka bör beaktas inför valet [10].

Hammarborrning är den klassiskt mest använda metoden vid borrning av injekteringshål, eftersom metoden lämpar sig för borrning i både bra och dålig betong. Borrningen utförs genom att borrkronan hamras mot botten i hålet och roteras när den lyfts upp inför det kommande slaget, se exempel på borrkronor i Figur 14. Metodens fördelar är att den är snabb och därmed även billig att utföra. Det är enkelt att borra vertikala hål med metoden.

Nackdelarna med metoden är att väggarna kan bli något ojämna, vilket ibland kan försvåra montering av manschetter, samt att borrkaxet kan täppa igen sprickorna. Vid god vattenspolning under borrningen anses dock inverkan av det senare problemet minskas [10]. Ifall borrkronan stöter på armering under arbetet och borrar det inte omgående avbryts finns det risk för att armeringen kan skakas loss och förlora sin vidhäftning till den omgivande betongen.



Figur 14. Illustration av olika fyrskäriga borrkronor för hammarborrning [4].

Vid kärnborrning roterar borrkronan samtidigt som den ligger an mot borrhålets botten, se exempel på borrkronor i Figur 15. Kärnborrning används främst vid förprovning för att ta ut borrkärnor för kärnkartering, samt vid långa hål där små toleranser för avvikelser från ansättningsriktningen råder.

En fördel med metoden är att omgivande betong inte riskerar att skadas, samt att väggarna blir jämnt borrade. Detta underlättar kommande montering av manschetter [10]. En annan fördel är att sprickorna inte sätts igen av borrkax, utan att sprickmynningarna förblir öppna [25].

Nackdelarna med kärnborrning är att metoden är dyr på grund av den längre tidsåtgången vid borrningen. Dessutom är risken större att fastna i dålig betong jämfört med traditionell hammarborrning. Ifall borrkronan stöter på armering under borrningen finns även risk att armeringen skärs av oavsiktligt.

Generellt sett bör borrarutrustningen vara dimensionerad så att kapaciteten blir hög. Vid injekteringsarbeten är omfattning och effektivitet av borrningen direkt avgörande för kvaliteten på resultatet. En för klent dimensionerad borrar leder till ökad risk för fastborrning och därmed förseningar i arbetet [27].



Figur 15. Illustration av borrkronor för kärnborrning [16].

9.2 Val av dimension på borrhål

Borrhål till injektering

Dimensionen på ett borrhål för cementinjektering av betong har ingen väsentlig betydelse för arbetets resultat. Dimensionen väljs däremot primärt med hänsyn till ekonomiska och arbetstekniska krav. En alltför stor dimension på borrhålet resulterar ofta i en högre kostnad för åtgång av tid och material. Dessutom kan appliceringen av manschetter försvåras i ett större hål [10].

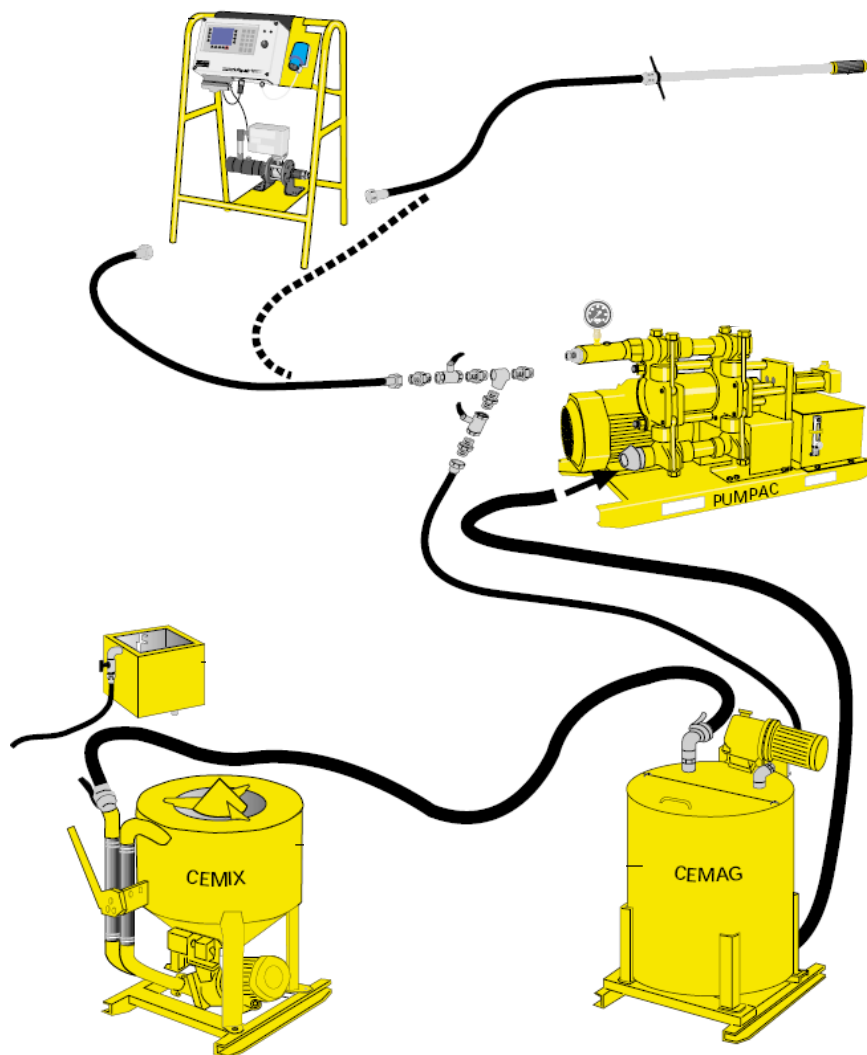
Val av dimension för borrhålen bör anpassas efter förekommande dimensioner på manschetter lämpliga för det aktuella projektet. Dimensioner på borrhål för cementinjektering brukar vanligtvis ligga i intervallet 40 mm till 70 mm.

Borrhål vid förundersökning och efterkontroll

Vid kärnborrning bör något större dimension på borrhålen väljas. Anledningen till denna rekommendation är att en större dimension ökar chansen till representativa borkärnor för kärnkartering, se avsnitt 7.2.1. Borkärnorna bör således ha en dimension av minst 70 mm.

9.3 Val av injekteringsutrustning

Lämplig utrustning för att bedriva injekteringsarbete med tillfredsställande resultat är borrarutrustning, doseringsutrustning, blandare, mellanlagringskärl med omrörare, pump, slangar, manschetter, registreringsutrustning och våg. En illustration av ingående delar i en injekteringsutrustning visas i Figur 16.



Figur 16. Ingående komponenter i en modern injekteringsutrustning [4].

Beställaren bör ställa höga krav på utrustningen och premiera att modern teknik och utrustning används för att öka möjligheterna att uppnå högsta möjliga kvalitet på injekteringsarbetet. Dessutom ska utrustningen vara ren och välunderhållen. Hårt nedsmutsad eller sliten utrustning försämrar avsevärt cementbrukets förmåga att fylla ut sprickor och håligheter [10].

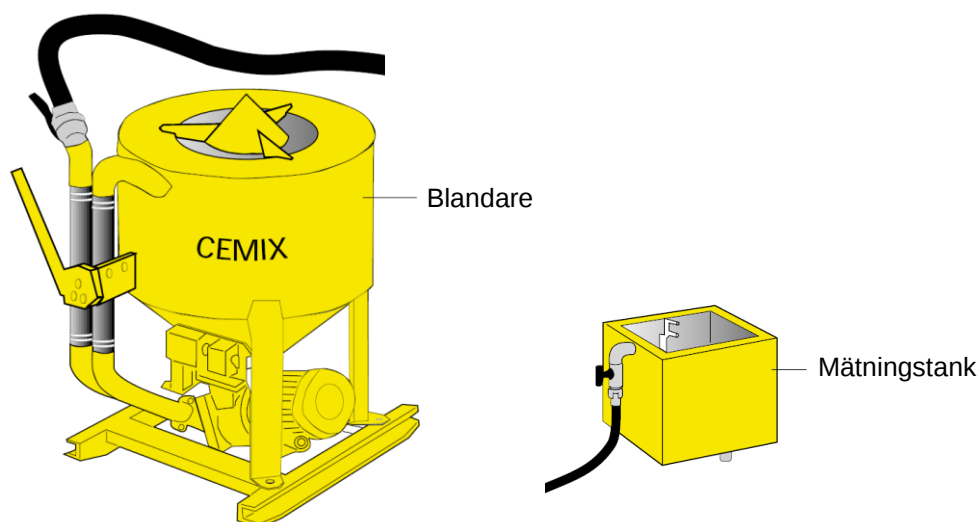
En enkel lathund över efterfrågade egenskaper hos den valda utrustningen presenteras i Tabell 6. Det kan generellt sägas att ett injekteringsarbete där stora volymer cementbruk beräknas gå åt kräver utrustning som klarar stora flöden. Vid ett injekteringsarbete där precision premieras framför kvantitet bör utrustning med hög känslighet och noggrannhet väljas.

Tabell 6. En enkel sammanställning över egenskaper som bör prioriteras vid val av utrustning. Tabell hämtad och modifierad från [12].

	Önskad egenskap	Fina sprickor	Medel	Grova sprickor
Teknik	Högt tryck	++	+	-
Teknik	Lågt minsta flödeskriterium	++	+	-
Teknik	Hög maximal volym	-	+	++

9.3.1 Blandare

Blandare ska väljas med utgångspunkten att en god dispergeringseffekt av cementbruket kan erhållas, det vill säga att cementbruket blir så väl blandat att det inte förekommer klumpar av cementpartiklar. Förekomst av klumpar ökar nämligen risken för att utrustningen sätts igen och att god inträngning i sprickor och håligheter förhindras [10].



Figur 17. Kolloidblandare (t.v.). Mätningstank för vatten (t.h.) [4].

Lika viktigt som det är att välja blandare med god dispergeringseffekt är det att välja blandare med kapacitet att förse injekteringsarbetet med tillräcklig mängd färdigblandat cementbruk [25]. Ifall mikrocement används är det även viktigt att undersöka om blandaren kan dispergera cementbruket på önskat sätt. Alla blandare är nämligen inte lämpliga för blandning av mikrocement.

Blandare av typ kolloidkvarn, se Figur 17, används i stor utsträckning och föreskrivs ofta av beställaren [25]. Detta då blandaren utsätter cementbruket för höga skjuvkrafter genom intensiv bearbetning, vilket gör att cementbruket effektivt dispergeras och uppnår god stabilitet och sammanhållning [10].

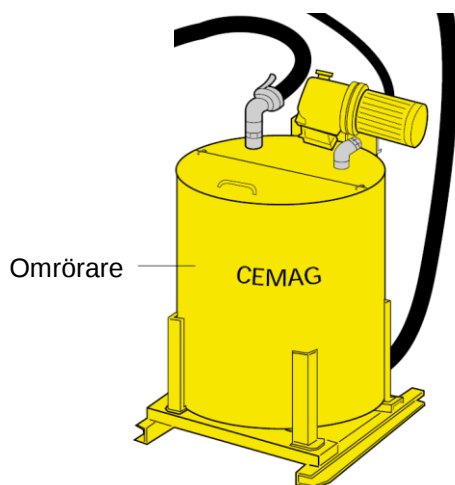
Ofta ställs dessutom krav på blandningshastigheten från beställarens sida. För blandare av typ kolloidkvarn är krav på varvtal över 1450 varv i minuten vanligt förekommande. På senare tid har även krav på varvtal över 1750 varv i minuten förekommit vid upphandlingar av injekteringsarbeten [25].

Minsta lämpligt varvtal avgörs trots nämnda krav slutligen vid förprovnings, eftersom det då blir uppenbart om blandaren lyckas uppfylla ställda krav på cementbruket eller ej. Lämpliga varvtal skiljer sig mellan olika typer av blandare, men även från blandare till blandare av samma typ.

Blandaren ska till sist även vara utrustad med en doseringsanordning, se Figur 17, för tillsättning av vatten med en noggrannhet om minst 5 % [9].

9.3.2 Lagringskärl med omrörare

Lagringskärl med omrörare behövs för att säkerställa kontinuerlig tillgång på cementbruk för injekteringsarbetet, samt för att lagra cementbruket mellan blandning och injektering, se Figur 18. Tidsspannet mellan blandning och injektering är normalt inte särskilt långt, men under tiden är cementbruket i behov av konstant omrörning för att inte förlora sin dispergering och/eller stabilitet [10]. En vanlig hastighet på omröraren är cirka 60 varv per minut.



Figur 18. Illustration av lagringskärl med omrörare [4].

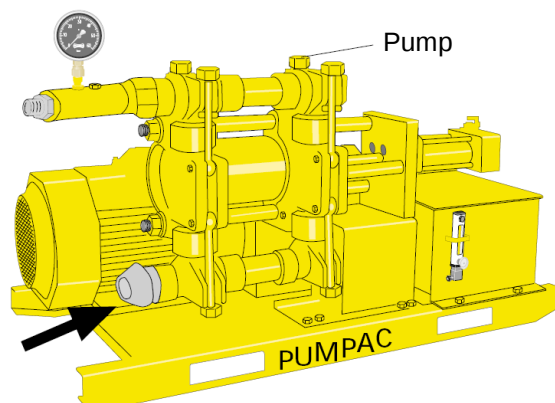
Kärlet bör ha en kapacitet att kunna lagra minst två blandningssatser av cementbruket. Kärlet ska dessutom vara utrustat med ett fint galler som avlägsnar klumpar och andra eventuella främmande föremål som kan ha hamnat i cementbruket [25].

9.3.3 Pump

Pump måste väljas så att ett jämnt flöde och ett så jämnt tryck som möjligt erhålls under hela injekteringsarbetet. Ett jämnt flöde utan hastiga tryckstegringar är nämligen att föredra [9]. Då kolvpumpar är vanligt förekommande är dock mindre tryckslag oundvikliga. Pumpen ska dessutom tillåta att både flöde och tryck kan regleras oberoende av varandra [25].

Cementinjektering av betong sker normalt vid betydligt lägre tryck än vad som är vanligt vid förinjektering av berg, där tryck över 2,5 MPa är vanligt förekommande. Pumpen måste således även ha god prestanda vid låga tryck ned till 0,2 MPa [25]. Moderna pumpar avsedda för injekteringsarbeten har ofta dubbla arbetslägen – ett för höga tryck och ett för låga tryck. Injektering av betongkonstruktioner ligger generellt sett i det lägre arbetsområdet.

Pumpen bör vara försedd med manometer och flödesmätare. Alternativt kan en fristående registreringsutrustning användas. I Figur 19 visas en illustration av en modern pump för låg- och högtrycksinjektering.



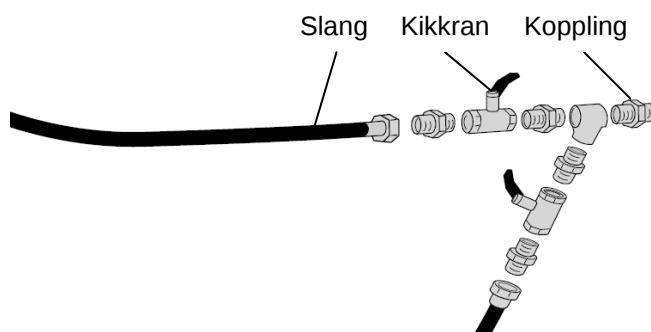
Figur 19. Illustration av pump för låg- och högtrycksinjektering [4].

Ovan nämnda tryck på 0,2 MPa motsvarar 200 kN/m², vilket innebär att ifall en kvadratmeter av ett horisontellt sprickplan fylls med cementbruk motsvarar det en lyftkraft på cirka 20 ton. Det är därmed mycket viktigt att ha kontroll på både tryck och injekterad volym cementbruk för att inte riskera ytterligare skador på den konstruktion som ska repareras [25].

Vid mindre injekteringsarbeten har ibland pumpning av cementbruk skett genom att trycksätta ett kärl innehållande cementbruk med tryckluft. Denna metod bör undvikas vid större injekteringsarbeten eftersom metoden dels innebär ett begränsat injekteringstryck och dels finns det en uppenbar risk för separation av cementbruket. Metoden kan således medföra täta avbrott [10].

9.3.4 Slangar, kopplingar och avstängningskranar

Slangar, kopplingar och avstängningskranar som används vid arbetet ska inte enbart vara dimensionerade för normalt injekteringstryck, utan även kunna klara av de temporära övertryck som kan uppstå vid hastiga stopp i injekteringsarbetet. Således bör endast hydraulklassad utrustning användas. I Figur 20 visas en illustration av vanliga tillbehör.



Figur 20. Illustration av slang, kikkran och kopplingar [4].

9.3.5 Manschetter

Manschetter används för att avskilja injekteringshålet från det omgivande atmosfärstrycket och på så sätt skapa förutsättningar för att kunna uppnå rätt tryck i cementbruket [25]. Med en avstängningskran kan sedan manschetten frikopplas från pumpen efter avslutad injektering. Kranen säkerställer att rätt tryck bibehålls i cementbruket fram tills att cementbruket har börjat härda. Manschetten kan sedan avlägsnas för rengöring. En vanlig uppdelning av manschetter i typer är mellan mekaniska och uppblåsbara manschetter.

- Mekaniska manschetter försluts genom vridning av ett handtag som medför att en gummipackning pressas ihop och tätar utrymmet mellan injekteringshållets vägg och manschetten [10].
- Uppblåsbara manschetter försluts genom att en gummislang runt röret fylls med luft eller vatten och tätar utrymmet mellan injekteringshållets

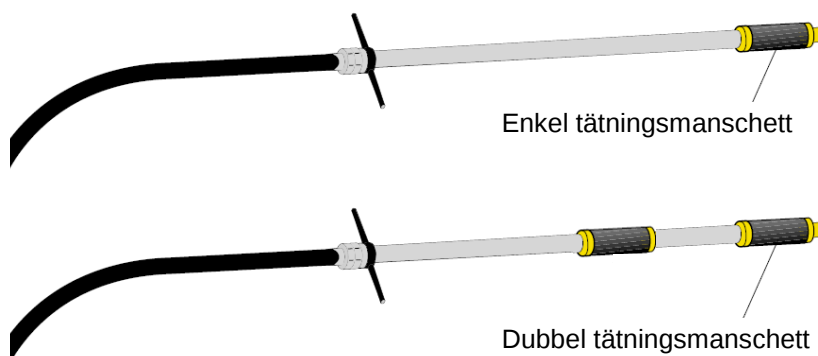
vägg och manschetten. Den uppblåsbara manschetten tätar även bra i dålig betong. Observera att trycket i gummislangen måste överstiga injekteringsstrycket. I annat fall finns stor risk för att manschetten trycks ut ur injekteringshålet [10].

Mekaniska och uppblåsbara manschetter kan ytterligare delas upp i varianter beroende på dess användningsändamål. En illustration av en enkelmanschett och en dubbelmanschett finns i Figur 21.

- Enkelmanschett – används primärt vid ytinjektering då hela hålet injekteras i en omgång eller på valfritt djup vid nivåinjektering [10]. Enkelmanschetten finns för både engångs- och flergångsbruk.
- Dubbelmanschett – används vanligen vid nivåinjektering eftersom manschetten kan stänga av injekteringshålet på en övre och en undre nivå [10]. Även dubbelmanschetten finns i utförande för engångs- och flergångsbruk.

Vid nivåinjektering kan det finnas behov av långa manschetter och då är det viktigt att förvissa sig om att den praktiska hanteringen av manschetterna i utrymmet är möjlig, se Figur 5. Ett alternativ är att tillhandahålla utrustning för att skarva manschetten i takt med att den förs ner eller upp ur injekteringshålet. Ett annat alternativ är att använda slangmanschetter.

- Slangmanschett – består vanligtvis av en lång slang som får sitta kvar i hålet efter avslutad injektering och fram tills att cementbruket börjar härdna. Slangmanschettens fördel är att den är enkel att hantera i trånga utrymmen. Nackdelen är att den är svår att rengöra efteråt, eftersom den är fylld med mer eller mindre härdat bruk [25].



Figur 21. Illustration av enkel och dubbel tätningsmanschett [4].

9.3.6 Registreringsutrustning

Registreringsutrustning används för dokumentation av injekteringstryck, injekterad volym och injekteringstid. Det är mycket viktigt att den utrustning som används är lämpad för den miljö som råder vid injekteringsarbeten. Enkla mätinstrument med manuell avläsning har som regel varit betydligt tåligare än äldre automatiserade system, men medfört sämre kontinuitet på dokumenteringen. Med en modern registreringsutrustning finns inte denna skillnad kvar längre. Fördelen med en automatiserad registreringsutrustning är att det i efterhand enkelt går att utvärdera injekteringsförloppet med injekteringstryck och injekterad volym som funktion av tiden [10].

En kombination av automatiserad och manuell registrering medför större flexibilitet för att kunna dokumentera tryck och flöde på olika ställen under injekteringsarbetet. I Figur 22 visas en illustration på en automatiserad registreringsutrustning som kopplas in mellan pump och manschett.



Figur 22. Illustration av registreringsutrustning för tryck, flöde, m.m. [4].

9.3.7 Våg

För korrekt uppvägning av de olika ingående materialen bör det finnas vågar med olika kapacitet och noggrannhet. Vanligtvis används två vågar – en våg med mindre kapacitet och finare noggrannhet, samt en våg med större kapacitet och grövre noggrannhet.

Förslagsvis kan den första vågen ha en kapacitet om 5 kg och en noggrannhet på ± 1 g, medan den andra, och större, vågen har en kapacitet om 50 kg och en noggrannhet på ± 10 g.

I en modern blandningsutrustning är ofta erforderliga vågar integrerade.

10 Utförande

10.1 Kommunikation

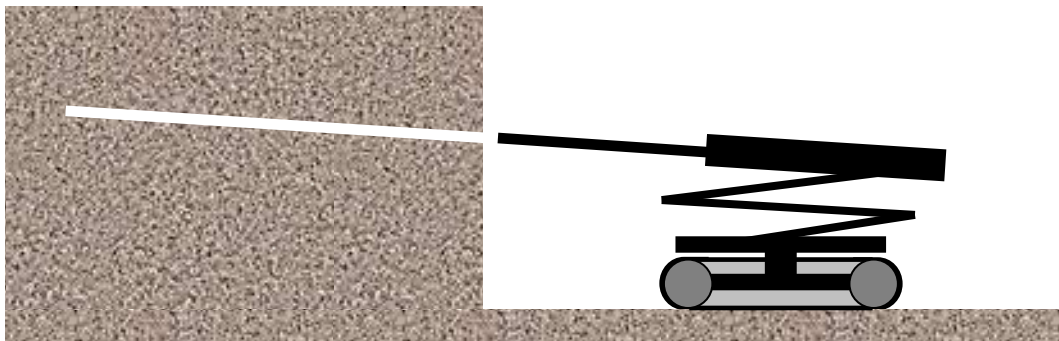
Redan under projekteringsskedet av ett injekteringsarbete, bör frågan utredas om var delar av utrustningen lämpligen bör placeras i förhållande till platsen för injekteringen. Erfarenhet har visat att en förutsättning för ett effektivt utförande av arbetet kräver ständig kontakt mellan personal vid blandare, pump och manschetter, samt personal för tätning av ytläckage. Ifall inte denna kommunikation kan upprätthållas muntligen, måste ett fullgott kommunikationssystem finnas till hands [24]. Alltför långa avstånd kan också medföra en ökad risk för separation av cementbruket i slangarna.

10.2 Borrning

Ett väl genomfört borrhingsarbete är en förutsättning för att den efterföljande injekteringen ska bli lyckad. Således bör kapaciteten vara så väl tilltagen att borrhiningen aldrig får en bromsande effekt på injekteringsarbetet. En för svag borrarutrustning medför en markant ökad risk för fastlåsning i dålig betong.

Borrarutrustningen bör dessutom enkelt kunna flyttas allteftersom arbetet fortskrider. Likväl bör den fästas stadigt i underlaget vid borrhiningen för att undvika vibrationer och skakningar som annars kan påverka borrhiningen negativt, men även personalens välbefinnande.

Vid borrhining av horisontella hål bör dessa ges en svag lutning, se Figur 23. Detta för att spolvatten ska kunna rinna ut och föra med sig borrhax som annars kan täppa igen sprickor, vilket skulle försämra injekteringsarbetet.



Figur 23. Principskiss på lutning av borrhål för att spolvatten ska kunna rinna ut och föra med sig borrhax som annars kan försämra injekteringsresultatet.

Ifall betongen är av mycket dålig kvalitet och hålen tenderar att rasa in föreligger det stor risk att borrkronan kommer att låsas fast. Vid en sådan situation bör hammarbörning i kombination med nivåinjektering övervägas, se avsnitt 5.2.

Om den aktuella betongkonstruktionen är grundlagd på berg, bör borrningen fortgå 1 – 2 meter ner i berget för att injekteringen även ska täta gränzonen mellan berg och betongkonstruktion. Ifall konstruktionen är grundlagd på annat material än berg bör borrningen avslutas innan detta material nås [27]. Anledningen till denna begränsning är den eventuella risken för att ändra på grundläggningens funktion ifall den blir injekterad. Även risken för erosion och bortspolning av material i grundläggningen bör beaktas.

Ifall den aktuella konstruktionen är utsatt för exempelvis ensidigt vattentryck och det inte finns någon möjlighet att torrlägga hela konstruktionen bör det finnas beredskap under borrhningsarbetet att omgående kunna manschettera kraftigt vattenförande hål.

Vid borrning av väldigt långa hål bör det även finnas möjlighet till kontroll av borriktningen. Detta eftersom en avvikande borriktning kan ge oönskade effekter i form av att hålets botten inte längre befinner sig vid föreskrivet läge. En följd av detta kan bli att resultatet av injekteringen försämras.

Borrning bör undvikas intill nyligen injekterade hål eftersom vibrationer från borrningen och eventuellt vattentryck av kylvattnet kan störa cementbrukets hårdnande [6]. Eftersom injekteringsarbeten i betongkonstruktioner oftast utförs i syftet att förbättra konstruktionen, är det i de flesta fall oacceptabelt att borra av armeringsjärn. Således bör borrningen avbrytas så fort ett armeringsjärn påträffas. Ett nytt försök bör göras intill det avbrutna hålet.

Genom att konsekvent dokumentera iakttagelser under borrhningsarbetet, kan nyttig information om betongens lokala kvalitet inför injekteringen erhållas.

OBS! Följ bifogade anvisningar för borrhningsarbetets utförande.

OBS! Ett väl utfört borrhningsarbete ger goda förutsättningar för injekteringen.

OBS! Borrhningsarbete intill ett nyligen injekterat hål bör ej utföras [6].

OBS! Borra aldrig av armeringsjärn utan att ha tillstånd för det.

10.3 Förberedelse inför injektering

Innan injekteringsarbetet påbörjas ska borrhålen spolas rena. Spolningen ska fortgå tills allt eroderbart material, slam och borkax avlägsnats ur hålet och endast rent vatten tränger ut ur hålet. Renspolningen utförs med spolrör eller styv plastslang, vilken förs ner till botten av varje borrhål. Spolningen är effektivast då vatten och tryckluft växelvis används [24].

10.4 Blandning av cementbruk

Flera genomförda undersökningar har visat att blandningsmomentet har stor inverkan på cementbrukets egenskaper. Av denna anledning är det viktigt att blandningen utförs konsekvent, samt med rätt material och utrustning [12].

För det första bör proportioneringen av cementbruket med största möjliga noggrannhet följa de framtagna recept som har godkänts inför injekteringen. Detta gäller även blandningsprocessen för cementbruket, eftersom en för kort eller för lång blandningstid kan ändra egenskaperna på cementbruket. Lämplig blandningstid bör ha bestämts vid förprovningen. För det andra får endast de material användas som har godkänts vid förprovningen av cementbruket. Om nya material ska användas krävs det en ny förprovning av cementbrukets egenskaper. Detta gäller givetvis även om det nya materialet eller fabrikatet har samma specificerade egenskaper som det material som byts ut. För det tredje är det av stor vikt att hålla blandningsutrustningen i god kondition med avseende på slitage och rengöring.

Ifall förslag inkommer på användandet av färgämnen i cementbruket med syftet att underlätta uppföljningen av injekteringsarbetet måste cementbruket först genomgå förnyad förprovning. Olika färgämnen kan nämligen ha väldigt stor inverkan på flyt- och inträngningsegenskaper hos cementbruket.

Det vatten som används vid blandningen måste vara av drickbar kvalitet. I annat fall får vattnet inte användas som blandningsvatten. Efter blandningen får dessutom inte det färdigblandade cementbruket omröras längre än 30 minuter, eftersom effekten av eventuella tillsatsmedel börjar avta vid denna tidpunkt. Dessutom kan cementets hydratation och således tillstyvnad ha påbörjats, vilket försämrar cementbrukets egenskaper.

De material som ska användas till cementbruket måste förvaras på ett sätt att egenskaperna inte riskerar att försämras under förvaringen. Extra känsligt är cementet, som måste skyddas mot fukt. Det är således inte tillåtet att lagra cementsäcken direkt på marken eller att lägga dem dikt an mot en byggnads ytterväggar. Cementet bör omsättas systematiskt, samt med en längsta lagringstid av drygt en månad. Vid längre förvaring ökar risken för klumpbildning [24]. Vid injekteringsarbeten med stor åtgång på cementbruk är det viktigt att säkerställa att logistik, blandning och materialleveranser fungerar som avsett och inte medför onödiga stopp i injekteringsarbetet.

OBS! Det är mycket viktigt att följa blandningsinstruktionerna för respektive cementbruk, eftersom oönskade egenskaper annars kan uppträda [12].

OBS! Endast vid förprovning godkända material får användas i cementbruket.

OBS! Det är förbjudet att använda vatten innehållande humus eller klorider. Ett bra rättesnöre är att vattnet vid blandningen ska vara drickbart [25].

OBS! Det är förbjudet att blanda cementbruk för hand eller med en vanlig betongblandare, eftersom det medför låg kvalitet och dålig stabilitet [10].

OBS! Felaktigt lagrat eller uppenbart fuktskadat cement ska kasseras.

10.5 Injekteringsskedet

Under injekteringsskedet ska alltid anvisningar från ansvarig projektör följas för styrning av arbetet. Förslag på ändringar i dessa anvisningar måste alltid förankras och godkännas hos ansvarig projektör innan de får tillämpas. Vid injekteringsarbeten där det inte finns några anvisningar att tillgå faller ansvaret istället på den utförande personalen att utföra arbetet efter bästa förmåga. Detta medför att valet av kunnig och erfaren personal får stor inverkan på slutresultatet av injekteringsarbetet.

I vilken ordning en betongkonstruktion ska injekteras, bör följa den allmänna rekommendationen att injekteringen alltid ska påbörjas i den lägst belägna punkten. Injekteringen arbetar sig därefter successivt uppåt i konstruktionen [6]. Detta för att dels undvika att stänga inne vatten i de lägre belägna delarna och dels för att undvika att cementbruk till följd av gravitation rinner nedåt i konstruktionen. Risken är att möjligheterna till kommande injektering försämrats genom att sprickor och håligheter sporadiskt kan täppas till.

Förutom ovan beskrivna ställningstaganden finns det mer generella regler som alltid bör efterlevas under injekteringsarbetet. Den första av dessa regler är att injekteringsarbeten inte får utföras när det råder köldgrader i konstruktionen. För att skapa en god säkerhetsmarginal mot detta bör gränsen då injektering inte bör utföras i konstruktionen sättas vid +5°C [25]. Vid lägre temperatur i betongen kan dessutom bindetiden för cementbruket öka så pass mycket att nya risker uppkommer.

Det är också viktigt att beakta injekteringens inverkan på dilatationsfogar och inlagda dränageledningar i konstruktionen. Största försiktighet bör iakttas för att inte fylla dessa och således ändra på konstruktionens funktion [6].

Som sista anmärkning bör det påpekas att det är viktigt att kontinuerligt dokumentera injekteringsarbetet. Mer information finns i avsnitt 10.11.

OBS! Följ bifogade anvisningar för injekteringsarbetets utförande.

OBS! Injekteringsarbeten får inte utföras vid lägre temperatur än +5°C.

10.6 Injekteringstryck

Ett högt injekteringstryck kan öka sannolikheten för att cementbruket pressas in i fler små hålrum och sprickor i betongen, samt att cementbruket dessutom kan pressas längre in i konstruktionen. En skadad konstruktion har dock ofta en dålig förmåga att motstå höga injekteringstryck, eftersom dessa riskerar att spräcka upp konstruktionen, vilket förvärrar skadan. Det är därför viktigt att injekteringstrycket aldrig får vara så högt att det riskerar att spräcka upp betongen eller orsaka upplyftning av ovanliggande konstruktion [9].

Även låga injekteringstryck kan utverka en stor kraft på konstruktionen om de får verka över en stor yta. Vid känsliga konstruktioner bör det inför arbetet

definieras gränser för vilken maximal upplyftning av konstruktionen som kan tillåtas. Dessa gränser får under inga omständigheter överskridas under injekteringsarbetet. Ett förekommande riktvärde för maximal upplyftning av konstruktioner ligger mellan 0,1 och 0,2 mm [9].

Injektering av betong påminner om efterinjektering av berg, varför vanligt förekommande injekteringstryck enligt erfarenhet brukar ligga mellan 0,1 och 0,5 MPa. Vid val av större injekteringstryck bör beslut alltid tas i samråd med en konstruktör.

Om injekteringen sker under vattentryck måste injekteringstrycket anpassas efter aktuellt vattendjup vid manschettens läge. Detta för att säkerställa att det valda injekteringstrycket (övertrycket) uppnås i cementbruket och således möjliggör önskad inträngning i betongen.

Det föreskrivna trycket bör uppnås så fort som möjligt vid injekteringen och därefter upprätthållas under den tid injekteringen pågår. Ifall olika delar av injekteringsutrustningen finns på olika nivåer på arbetsplatsen är det viktigt att ta i beaktning den ökning eller minskning av injekteringstrycket som kan uppstå på grund av höjdskillnaderna.

OBS! Använd aldrig ett så högt injekteringstryck att konstruktionen skadas.

OBS! Följ de anvisningar som finns om aktuella gränser för upplyftning.

OBS! Var observant på eventuell yttre inverkan på injekteringstrycket – från omgivande vattentryck eller höjdskillnader mellan olika delar av utrustningen.

10.7 Förbindelse mellan hål

Två hål med förbindelse vid vattenförlustmätning bör injekteras samtidigt genom två manschetter. Vid områden med kända förbindelser mellan ett större antal hål bör växelvis injektering övervägas, se avsnitt 5.4.

Om den använda pumpen endast har en utgång och injekteringen sker från det ena hålet riskeras tryckförluster med dålig inträngning och täthet som följd i det andra hålet [25]. Det andra hålet ska således omedelbart injekteras efter avslutad injektering i det första hålet. Det bör påpekas att detta förfarande inte bör väljas om det går att undvika det. Detta eftersom resultatet aldrig kan bli lika bra som vid injektering i båda hålen samtidigt.

Vid injektering genom endast ett hål är det mycket viktigt att manschettera övriga hål och dokumentera erhållna tryck under injekteringsarbetet [24].

Om förbindelse mellan hål uppträder i samband med injekteringsarbetet bör samma åtgärder vidtas som i fallet när förbindelsen är känd sedan tidigare.

OBS! Borrhål med förbindelse bör injekteras samtidigt.

OBS! Om använd pump endast har en utgång ska övriga hål med förbindelse injekteras omedelbart efter varandra.

10.8 Ytläckage

En försvårande faktor vid injekteringsarbeten är ifall cementbruk läcker ut från konstruktionen. Detta medför att det blir svårt att upprätthålla rätt tryck, samt att veta hur mycket cementbruk som har tillförts konstruktionen. Ett sätt att minska risken för dolda ytläckage är att inte injektera konstruktionen på djup mindre än 0,5 – 1,0 meter från dess yta där så är möjligt.

När ett ytläckage har observerats, ska det omgående tätas för att undvika störningar i injekteringen. Tätningen kan exempelvis utföras med hjälp av tråkilar, trasor, snabbhärdande bruk eller epoxispackel [24]. Vid dåliga partier med stora och/eller enträgna läckage, bör injekteringen avbrytas i avvaktan på att konstruktionen kan tätas. En lämplig metod för temporär tätning av dåliga partier är med hjälp av sprutbetong [27].

Vid ett längre uppehåll i injekteringen till följd av ett dolt ytläckage, bör ett nytt hål borraras innan arbetet får fortsätta. Detta eftersom cementbruket i det första hålet sannolikt har förlorat sina egenskaper som det besitter i färskt tillstånd. Likaså är det viktigt att kassera det cementbruk i omröraren som användes innan uppehållet, eftersom det kan ha börjat hårdna och/eller att effekten av eventuella tillsatsmedel har börjat avta [27].

Ifall injekteringen sker i en konstruktion som står under vatten, exempelvis uppströmssidan av en damm, kan dykare behöva anlitas för att undersöka eventuella läckage och/eller för att täta dem [27].

Ifall det är svårt att uppnå erforderat injekteringstryck kan det tyda på att det finns dolda ytläckage i konstruktionen. Injekteringsarbetet bör då avbrytas i väntan på att läckaget hittas och tätas.

OBS! Täta alltid uppkomna ytläckage omgående vid ett injekteringsarbete.

OBS! Om ytläckage inte kan förhindras bör arbetet avbrytas för stunden.

OBS! Svårigheter i att nå rätt injekteringstryck kan tyda på ett dolt läckage.

10.9 Injekteringsarbetets avslut

Ett borrhål är färdiginjekterat när något av de uppställda stoppkriterierna, vilka definieras under projekteringen, har uppfyllts, se avsnitt 7.6.

I de fall där det inte har definierats några stoppkriterier bör injekteringen fortgå tills cementbrukskonsumtionen praktiskt taget är noll och ett stabilt mottryck har erhållits nära det maximalt tillåtna injekteringstrycket [10]. En gammal tumregel för injekteringsarbetets avslut är när bruksåtgången är mindre än 1 liter per minut vid maximalt tillåtet injekteringstryck eller när bruksåtgången är noll vid 75 % av det maximalt tillåtna injekteringstrycket [10]. Senare erfarenheter har dock visat att det är vid uppnått mottryck som

de finare sprickorna och hålligheterna tätas. Av denna anledning bör därför fördefinierade stoppkriterier användas i möjligaste mån.

Manschetter, rör och/eller slangar bör vara försedda med kikkranar, vilka stängs vartefter injekteringen framskrider. Detta för att behålla rätt tryck i cementbruket fram tills att tillstyvnandet igångsätter. Manschetter, rör och slangar får dock inte sitta kvar så länge att de inte går att rengöras för att användas på nytt [24]. Detta gäller dock inte engångsmanschetter.

OBS! Följ definierade stoppkriterier för injekterings avslut.

OBS! Låt cementbruket fortsatt vara trycksatt under tiden för tillstyvnandet.

OBS! Låt inte utrustningen sitta kvar så länge att den inte kan rengöras.

10.10 Oförutsedda händelser

Det bör finnas viss beredskap mot oförutsedda händelser under injekteringen. I annat fall kan resultatet bli onödigt långa uppehåll i arbetet. Genom att i förväg ha identifierat kritiska moment och hur dessa ska åtgärdas, kan ett smidigare arbetssätt för problemlösning erhållas [12]. Nedan följer några exempel på de mest förekommande kritiska momenten:

- Cementbruket fungerar inte som förväntat i betongkonstruktionen. Den direkta följden av detta blir dålig inträngning för cementbruket.
- Utrustningen skadas eller råkar ut för annat fel, exempelvis genom igensättning av slangar.
- Strömförsörjningen till arbetsplatsen försvinner.
- Påträffandet av ett starkt vattenförande hål.
- Upptäckt av förbindelser mellan två eller flera hål.
- Upptäckt ytläckage i konstruktionen.

Även vid kortare uppehåll under injekteringsarbetet riskerar stillastående cementbruk att separera. Dessutom avtar effekten av tillsatsmedel, samt att slangar och halvfyllda hål kan sättas igen och därmed försvåra det fortsatta arbetet [10]. Vid osäkerhet om cementbrukets egenskaper ska satsen alltid kasseras och en ny sats blandas innan injekteringsarbetet får fortsätta.

OBS! Identifiera kritiska moment innan injekteringsarbetet påbörjas.

OBS! Avvikelse rapporter ska upprättas vid oförutsedda händelser.

10.11 Kontroll och uppföljning

Regelbundet och kontinuerligt under hela tiden för injekteringsarbetet ska protokoll över injekteringen föras. I protokollet ska det i efterhand gå att utläsa ID-numret till varje injekteringshål, samt var i konstruktionen hålet kan återfinnas. En eller flera ritningar med alla injekteringshål markerade ska bifogas protokollet [10]. Vilka punkter protokollet kan innehålla behandlas närmare i avsnitt 11.2.1.

Efter utfört injekteringsarbete bör resultatet verifieras genom en efterkontroll. Beroende på vilka krav som har ställts på injekteringen i upphandlingen, kan olika provningsprogram utformas [10]. Vilka provningsmetoder som kan tillämpas behandlas närmare i avsnitt 11.2.2.

OBS! Det är viktigt att kontinuerligt och noggrant fylla i protokollen under injekteringsarbetets utförande.

11 Kvalitetskontroll

För att uppnå lyckat resultat på ett injekteringsarbete krävs, förutom bra val av material och utrustning, ett korrekt utförande, vilket personalen ansvarar för. Parallellt injekteringsarbetet ska kontinuerlig provning och dokumentation utföras. Provningsen utförs för att upptäcka eventuella avvikelser i material och utrustning. Dokumentationen i form av ifyllda protokoll ligger sedermera till grund för uppföljning och utvärdering av arbetet. Till sist ska även injekteringsarbetets resultat verifieras genom en efterkontroll. Regelbundet återkommande möten ger projektets olika parter goda möjligheter att träffas och diskutera projektets genomförande som en del av kvalitetsarbetet.

11.1 Personalens ansvar

Även om inga formella krav ställs på den utförande personalen idag inför ett injekteringsarbete borde det likväl ligga i beställarens och entreprenörens intresse att tillgodose att personal med relevant erfarenhet och kunskap utför arbetet. Beställaren bör således ställa krav på att den utförande personalen kan styrka både kunskap och erfarenhet inom det aktuella arbetsområdet genom hänvisning till tidigare genomförda arbeten.

Under utförandefasen bör personalen alltid agera korrekt och professionellt med avseende på injekteringsarbetet och att gällande föreskrifter efterföljs.

Personalen ska vara observant på oförutsedda händelser och/eller avvikelser i den normala arbetsrytmen och anpassa sitt agerande därefter. Vid uppkomna oklarheter eller osäkerheter i arbetet ska alltid beställaren och/eller ansvarig projektör kontaktas för rådgivning om arbetets fortsättning.

För ett kontinuerligt arbete i syfte att förbättra arbetsplatsförhållanden och resultat från injekteringsarbetet, förutsätter detta att personalen upprättar avvikelse rapporter när oväntade händelser inträffar.

11.2 Kontroll & dokumentation

Protokoll ska kontinuerligt upprättas varefter injekteringsarbetet fortskrider. Detta med syftet att i efterhand ha möjlighet att följa upp arbetenas resultat. Protokollen kan ge god information om var i betongkonstruktionen det blir extra viktigt att genomföra efterkontroll, för att säkerställa att injekteringen har haft avsedd verkan. En kontinuerlig dokumentation kan också ge indikationer på om något i cementbruket eller utrustningen avviker mot det normala. Den kontinuerliga dokumentationen blir då ett bra komplement till den fortlöpande provningen av cementbruket, se avsnitt 11.2.2.

11.2.1 Injekteringsprotokoll

De protokoll som upprättas, i samband med injekteringsarbetet, ska innehålla information om datum, utförare, konstruktionsdel, samt aktuella borrhåls-ID. Detta för att möjliggöra identifiering av enskilda borrhål, samt för att kunna koppla ihop dem med de arbetshandlingar och ritningar, som finns tillhands för injekteringsarbetet. Även observationer över avvikelser ska protokollföras.

Utöver denna grundläggande information ska protokollet också innehålla mer specifik information enligt följande punkter:

- Cementbrukets sammansättning, det vill säga blandning.
- Injekteringsmetod och injekteringsteknik, se avsnitt 4 och 5.
- Position för borrhålet och borrhålets längd, samt dess riktning.
- Manschettnivå.
- Injekteringstryck vid manschett.
- Injekterad volym cementbruk av respektive blandning.
- Injekteringstid, vilket innebär start- och stopptider.
- Upptäckta förbindelser mellan borrhål.
- Tidpunkt och längd på eventuellt uppehåll, inklusive dess orsak.

11.2.2 Fortlöpande provning

Den fortlöpande provningen bör vara precis, effektiv och regelbunden. Därför är det viktigt att på förhand bestämma vilka egenskaper hos cementbruket som är väsentliga att prova för det aktuella injekteringsarbetet. Det är inte praktiskt eller ekonomiskt försvarbart att kontinuerligt prova alla egenskaper.

De egenskaper som kan vara av intresse att fortlöpande prova är:

- Cementbrukets bindetid med Vicat-nål.
- Hållfasthetsutveckling i cementbruket genom "muggprov".
- Inträngningsförmåga för cementbruket med filterpump.
- Flytgräns för cementbruket med "yield stick".
- Temperatur i cementbruket vid platsen för injektering.
- Vattencementtal, vct, genom metoden "mud balance".
- Vattenseparation i cementbruket.
- Viskositet i cementbruket med marshkon.

Bortsett från kontroll av cementbrukets egenskaper bör även utrustningen som används fortlöpande kontrolleras. Kontrollen bör bestå i att säkerställa utrustningens funktion och att förhindra att slitage försämrar möjligheterna till ett bra injekteringsresultat. De delar av utrustningen som är viktiga att kontrollera är:

- Blandare.
- Flödesmätare.
- Manschetter.
- Mät- och doseringsanordningar.
- Omrörare.
- Pump.
- Registreringsutrustning.
- Slangar, kopplingar och packningar.
- Tryckmätare - manometer.

Lämpliga intervall mellan tillfällen för fortlöpande provning av cementbruk och utrustning kan variera beroende på injekteringsarbetets art, samt vilka krav som har ställts på cementbruk, utrustning och resultat. Intervallen varierar dock vanligtvis mellan en vecka och en månad.

11.2.3 Efterkontroll

En efterkontroll för verifiering av det genomförda injekteringsarbetet utförs i syftet att kontrollera om betongkonstruktionen har uppnått den täthet eller hållfasthet som har föreskrivits i kravspecifikationen, se avsnitt 8.4. Beroende på utfallet från denna efterkontroll kan det beslutas om injekteringsarbetet ska godkännas eller underkännas. I det senare fallet kan det bli fråga om genomförandet av ytterligare en injekteringsomgång.

De kontrollmoment som kan utföras efter ett genomfört injekteringsarbete är:

- Vattenförlustmätning – provning om betongen har uppnått föreskriven täthet genom jämförelse av resultat med ställda krav, se avsnitt 7.2.4. Provning är särskilt intressant där åtgången av cementbruk varit stor.
- Uttag av borrhärdor för kärnkartering – bedömning om kvaliteten på betongen, se avsnitt 7.2.1, har förbättrats i förväntad utsträckning.
- Uttag av borrhärdor för provning av tryckhållfasthet – bedömning om betongen har uppnått föreskriven hållfasthet.

- Jämförelse mellan resultat från vattenförlustmätning och förväntad fyllnadsgrad med syftet att upptäcka avvikelser mellan otätheter och anmärkningsvärt liten/stor åtgång av cementbruk.
- Borrhålsfilmning – undersökning ifall injekteringsarbetet har lyckats fylla ut de sprickor och håligheter som tidigare observerats i betongen.

11.3 Möten

En viktig del av kvalitetsarbetet under ett injekteringsprojekt är att tillgodose möjligheten att vid formella möten diskutera planering, erfarenheter, eventuella problem, samt lösningar kopplade till problemen. Vid dessa möten bör förslagsvis beställare, projektör, entreprenör, projektledare och andra, för projektet viktiga, parter delta.

I följande avsnitt beskrivs tre typer av möten som bör förekomma i samband med ett större projekt för cementinjektering av en betongkonstruktion - startmöte, byggmöte och slutmöte. Berört innehåll till respektive dagordning ska endast betraktas som förslag.

11.3.1 Startmöte

Vid ett startmöte bör projektets samtliga parter bekanta sig med varandra och diskutera planering, tekniska lösningar, utförande och målsättning med injekteringsarbetet. Detta för att underlätta att alla parter strävar mot samma mål med en gemensam syn på arbetets utförande. Samtliga parter får dessutom en god möjlighet att ställa frågor och reda ut eventuella tveksamheter inför injekteringsarbetets start.

11.3.2 Byggmöte

Under ett injekteringsarbets gång bör regelbundna möten hållas mellan de inblandade parterna, förslagsvis en gång i månaden. Vid dessa möten ska parterna redogöra läget för sina ansvarsområden i form av utfört arbete, planerat arbete, eventuella problem, samt lösningar på problemen och hur de andra parterna i så fall kan bli påverkade av detta.

Genom att föra en öppen dialog kan alla parter få möjlighet att framföra sina åsikter, diskutera och i samförstånd fortsätta injekteringsarbetet.

11.3.3 Slutmöte

Ett för projektet avslutande möte, benämnt slutmöte, bör anordnas mellan projektets parter en tid efter att injekteringsarbetet har slutförts och godkänts. Ett syfte med mötet kan vara att diskutera utfallet av injekteringsarbetet och hur väl detta stämmer överens med de förväntningar och krav som upprättades under projekteringen av injekteringsarbetet.

Ett desto viktigare syfte med slutmötet är att ta tillvara de erfarenheter som har vunnits under injekteringsarbetets gång. Vad fungerade? Vad fungerade inte? Varför fungerade det inte? Hur löstes det? Hur påverkades tidplanen? Hur påverkades utfallet? Genom att dokumentera dessa erfarenheter kan vunnen kunskap tas tillvara och föras vidare med syftet att kunskapen kan komma till nytta vid framtida injekteringsarbeten.

12 Miljö, hälsa och säkerhet

Injektering klassas i Sverige som anläggningsarbete och ska följa den svenska lagstiftningen i form av Plan- och bygglagen, 1987:10, Miljöbalken, 1998:808, och Arbetsmiljölagen, 1977:1160 [12].

12.1 En säker arbetsplats

Förutom att injekteringsarbetet är komplicerat att utföra är det även förenat med risker för den personliga säkerheten. Detta ifall förberedande arbeten och/eller injekteringen utförs på felaktigt sätt. Arbetsmiljölagen, 1977:1160, reglerar ytterst vilka krav som ska ställas på arbetsmiljön vid en arbetsplats.

För att kunna tolka och använda sig av arbetsmiljölagen har Arbetsmiljöverket utarbetat en författningssamling med konkreta föreskrifter och allmänna råd. Dessa föreskrifter preciserar vilka krav som kan ställas på arbetsplatsen [2].

Följande föreskrifter, inklusive tillhörande ändringsföreskrifter, är relevanta för injekteringsarbeten och ska således också användas:

▪ Användning av arbetsutrustning	AFS 2006:04
▪ Byggnads- och anläggningsarbete	AFS 1999:03
▪ Kemiska arbetsmiljörisker	AFS 2000:04
▪ Maskiner	AFS 2008:03
▪ Skydd mot skada genom fall	AFS 1981:14
▪ Stegar och arbetsbockar	AFS 2004:03
▪ Ställningar	AFS 1990:12
▪ Vibrationer	AFS 2005:15

Byggherren är alltid skyldig att utse byggarbetsmiljösamordnare – BAS-P för planering och projektering, samt BAS-U för utförandet av anläggningsarbetet. Sedan den 1 januari 2011 råder det ett formellt krav på relevant utbildning, kompetens och erfarenhet hos byggarbetsmiljösamordnaren för att denne ska kunna utföra sin arbetsuppgift på ett tillfredsställande sätt [3].

Eftersom cementinjektering kräver trycksatta slangar är det viktigt att de är dimensionerade för de temporära tryck som kan uppstå när något oförutsett inträffar vid injekteringen. Använd utrustning ska inspekteras kontinuerligt och utrustning som är på väg att falla ska repareras eller bytas ut. Detta gäller framför allt slangar och kopplingar som är trycksatta vid arbetet.

Rengöring av blandare, omrörare, pumpar och/eller annan utrustning ska alltid utföras när utrustningen är avstängd och/eller trycklös. Olycksrisken är i annat fall överhängande och skadorna kan bli allvarliga.

12.2 Personlig hälsa

Utöver att gällande säkerhetsföreskrifter ska följas bör även den utförande personalen ha relevant erfarenhet och kunskap för det aktuella arbetets genomförande. Detta gäller såväl för injekteringsmetoder, tillvägagångssätt och bekantskap med den utrustning som ska användas. Detta bör minska risken för olyckor på arbetsplatsen relaterade till injekteringsarbetet.

För att ytterligare måna om personalens hälsa ska alltid skyddsutrustning nyttjas, det vill säga hjälm, skyddsglasögon/visir, handskar, hörselskydd, skyddskläder, samt skor med trampskydd och stålhätta. Även besökande personer ska bära skyddsutrustning i den utsträckning som är nödvändig för upprätthållandet av god säkerhet.

Hantering av cement och/eller tillsatsmedel ska utföras med vetskapen att de kan irritera huden vid långvarig kontakt, samt vara starkt frätande ifall stänk hamnar i ögonen. Således ska det alltid finnas första hjälpen-låda och ögondusch på arbetsplatsen. Läkare ska kontaktas om ögondusch använts.

Övriga kemikalier ska alltid behandlas enligt tillhörande säkerhetsdatablad.

12.3 Påverkan på miljön

Vid injekteringsarbeten påverkas alltid miljön i mer eller mindre utsträckning. Att således iaktta största möjliga försiktighet för att minimera denna påverkan är i dagsläget en självklarhet. Ytterst regleras dock vilka krav som ska ställas på arbetet av Miljöbalken, 1998:808 [12].

Den påverkan på miljön som kan inträffa vid cementinjektering är primärt risken för spridning av kemikalier i yt- och grundvatten, samt i mark. Utsläpp av för stora mängder kemikalier kan påverka både vattenkvaliteten och balansen i ekosystemet. Det är värt att påpeka att det också kan finnas medel som inte är tillåtna att använda enligt svensk lagstiftning [12].

Således bör försiktighet iakttas vid hantering av tillsatsmedel eftersom de kan ha en stark miljöpåverkan ifall de hamnar i mark och vatten. Likaså är det viktigt att kontinuerligt följa upp injekteringsarbeten av konstruktioner som står i vatten, eftersom läckage av cementbruk kan ske från delar av konstruktionen vilka befinner sig under vattenytan. Det är likaså viktigt att ha beredskap för att vid behov kunna samla upp och rena kylvatten till borrhåll, samt spolvatten för renspolning av borrhål.

Vilka exakta miljökrav och gränsvärden, på eventuella utsläpp som gäller för respektive arbetsplats, fastställs i kontakt med berörda miljömyndigheter.

13 Referensförteckning

- [1] AMA Anläggning 10, 2010, *Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten – AMA Anläggning 10*, Svensk Byggtjänst, 2011, ISBN 978-91-7333-445-7
- [2] Arbetsmiljöverket, *Lag och rätt*, hämtad 2010-07-12
- [3] Arbetsmiljöverket, *Utbildning av byggarbetsmiljösamordnare*, hämtad 2011-07-14
- [4] Atlas Copco AB, bildmaterial, www.atlascopco.se, hämtat 2010-07-02
- [5] Berg, S. A., 2004, *Pionjärinsatser i betongens barndom – Konstruktionsbetongens historia 1890 – 1950*, artikel i nummer 4/2004 av tidskriften Byggnadskultur, ISSN 0348 6885
- [6] Bernstone, C., Thorsell, P.-E., 2001, *Uppgradering av Forshuvuddammen – En demonstrationsstudie av oförstörande undersökningsmetoder och cementinjektering*, Elforsk rapport 01:24, Elforsk AB
- [7] Burström, P.-G., 2001, *Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Studentlitteratur, Lund, ISBN 91-44-01176-8
- [8] Börgesson, L., Pusch, R., m.fl., 1991, *Final Report of the Rock Sealing Project – Sealing of the Near-Field Rock Around Deposition Holes by Use of Bentonite Grouts*, Stripa project 91-34, SKB
- [9] Eklund, D., 2003, *Injekteringsarbeten vid Akkats kraftstation – sammanställning*, US03:03, intern rapport, Vattenfall Utveckling AB
- [10] Eklund, D., Grönholm, R., Hansson, P., 2001, *Förstudie – nationell injekteringshandbok*, U01:75, intern rapport, Vattenfall Utveckling AB
- [11] Eriksson, M., 2002, *Prediction of Grout Spread and Sealing Effect – A Probabilistic Approach*, Doktorsavhandling, Avd. För Jord- och Bergmekanik, KTH, Stockholm, ISSN 1650-9501
- [12] Eriksson, M., Stille, H., 2005, *Cementinjektering i hårt berg*, SveBeFo, ISBN 91-631-6632-1
- [13] Grönholm, R., 2000, *Utvärdering av borrhärlor från betongkonstruktioner*, Elforsk rapport 01:01, Elforsk AB
Grönholm, R., Löf, M., 2004, *Utvärdering av borrhärlor från betongkonstruktioner, rev.*, U04:80, Vattenfall Utveckling AB
- [14] Gustafson, G., Fransson, Å., Funehag, J., Axelsson, M., 2004, *Ett nytt angreppssätt för bergbeskrivning och analysprocess för injektering*, Väg- och vattenbyggaren, nummer 4:10-15
- [15] Hansson, P., 1994, *Cementinjektering – Handbok i materialteknik för injekterare*, Elforsk rapport 94:12, Elforsk AB
- [16] Husqvarna AB, bildmaterial, www.husqvarna.se, hämtat 2010-07-02

- [17] Ljungkrantz, C., Möller, G., Petersons, N., 1992, *Betonghandbok – Arbetsutförande – Projektering och byggande*, Svensk Byggtjänst, ISBN 91-7332-586-4
- [18] Molin, C., Syvertsen, B., 2007, *Tätning av läckande sprickor i betong med kristalliseringsteknik – en översiktlig studie*, SBUF Projekt nr 11673
- [19] Nordström, E., Holmgren, J., 2009, *Sprutbetonghandboken Reparation*, Elforsk rapport 09:74, Elforsk AB
- [20] Stille, B., Stille, H., Gustafson, G., Kobayashi, S., 2009, *Experience With the Real Time Grouting Control Method*, Geomechanics and Tunnelling 2, No:5:447-459
- [21] Svensk standard, SS-EN 1504-5, *Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation – Del 5: Injektering av betong*
- [22] Svensk standard, SS-EN 1504-9, *Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation – Del 9: Underlag för val av åtgärd*
- [23] Svensk standard, SS-EN 12715, *Utförande av geokonstruktioner – Injektering*
- [24] Sällström, S., 1968, *Anvisningar för utförande av Cementinjektering i berg*, Statens Vattenfallsverk
- [25] Thorsell, P.-E., 2007, *Uppföljning av injekteringsarbeten – kanalmur, Älvkarleby*, Elforsk rapport 07:67, Elforsk AB
- [26] VAST, 1991, *Betong i vattenkraftanläggningar*, Stockholm, Kraftverksföreningens Utvecklingsstiftelse, Cementa AB, ISBN 91-87334-07-0
- [27] VAST, 1991, *Cementinjektering i äldre sten- och betongdammar*, Kraftverksföreningens Utvecklingsstiftelse
- [28] Vägverket, 2000, *Tätning av bergtunnlar – förutsättningar, bedömningsgrunder och strategi vid planering och utformning av tätningsinsatser*, Publikation 2000:101, ISSN 1401-9612
- [29] Warner, J., 2004, *Practical Handbook of Grouting*, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-46303-5
- [30] Westerberg, G., 1926, *Några tillämpningar av Cementinpressningsmetoden vid Statens Vattenfallsverks byggnadsföretag*, Tekniska meddelanden från Kungl. Vattenfallsstyrelsen, Ser. B., N:r 7, Trolldättans Tryckeriaktiebolag 1926

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

**Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se**