

## **Injektering med höga vatten/cement-tal**

Magnus Axelsson

Chalmers Tekniska Högskola, Geo-avdelningen

Injekteringsmetodik i Sverige går mot att allt mer låga vatten/cement-tal (vct) används. Detta framför allt beroende på att de är mer stabila och separationen av vatten och cement är mindre. Dock har det visat sig att vid injektering i låg permeabelt berg med liten sprickaperatur eller vid lerfyllda sprickor är fortfarande höga vct att föredra då de har en bättre inträngningsförmåga än de låga vct bruken. En populär metodik som hämtats från daminjektering är att "tjocka på" vilket innebär att man inleder injekteringen med ett högt vct och därefter successivt minskar vct. I denna studie är målsättningen att studera inträngningen av höga vct samt att förstå de stopp mekanismer som leder till inträngningen upphör. Detta utförs som en inledande litteraturstudie från vilken hypoteser sätts upp. Dessa hypoteser testas därefter i laborationsförsök. I denna rapport avses vatten/cement-talet som högt över 2,0.

### *Litteraturstudie*

En genomgång av litteratur inom området visar att ett flertal studier utförts där inträngningslängden av höga vct bruk studerats, framför allt genom försök i sandkolonn. Dock har de flesta studier utförts som jämförande studier och slutsatser har framför allt dragits angående vilka bruk som är lämpligast i olika typer av sand. Slutsatser från studien visar att flertalet författare visar att maximala kornstorleken för cementbruket maximalt kan vara 1/3 av den öppning som det ska passera, annars finns en stor risk för att cementkornen klumpar ihop sig. Vid jämförelse mellan höga och låga vct visar det sig att inträngningsförmågan ökar för höga vct och att mindre aperturer kan penetreras då ett högre vct används. Vid injektering i sand sker en filtrering av injekteringsmedlet och mest cement återfinns nära injekteringsinloppet. Detta fenomen minskar dock vid ökat vct vilket tyder på mindre initial filtrering. Vid de utförda experimenten har man uppmätt en viss ökning av hållfastheten vid användning av höga vct men minskningen av permeabilitet har varit begränsad.

### *Laboration*

Försök utfördes i en sandkolonn som var 1 meter hög och med en diameter av cirka 0,1 m. Sand fylldes upp till 0,9 m höjd i kolonnen varefter sanden vattenmättades och permeabilitets mätningar utfördes. Därefter injekterades sanden uppifrån. I experimentet utfördes injekteringen med Myanit, en krossad dolomit med reologiska egenskaper liknande cement. Maximala kornstorleken var 20  $\mu\text{m}$ , vilket är i relation till cement som används som för fininjektering. Anledningen till att använda Myanit är dess inerta egenskaper vilket innebär att den inte härdar med tiden utan behåller sina ursprungliga egenskaper. Dock separerar den vilket alla suspensioner gör vid högre vattenhalter.

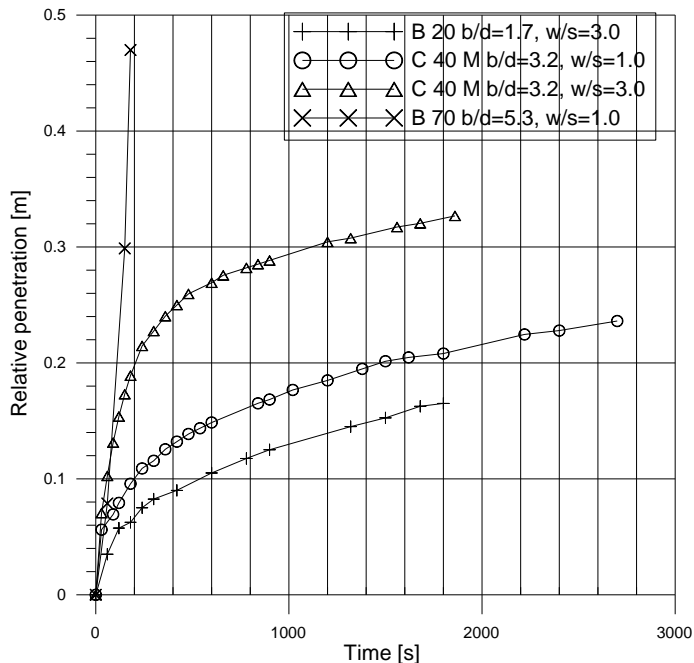
I försöken användes tre olika sandfördelningar, två vilka levererats av Baskarpsand AB med maximal kornstorlek av 0,5 respektive 4 mm och en tredje som siktades fram på Chalmers med en maximal kornstorlek på 1 mm. Detta för att erhålla tre olika genomsläppligheter och därmed teoretisk apertur mellan kornen.

Utgående från litteraturstudien skapades följande hypoteser som testades i sandkolonnen:

- Vid ett förhållande mellan teoretisk apertur mellan sandkornen och största injekteringskorn sker ingen inträngning. Detta är oberoende om högt eller lågt vct används.
- Vid en teoretisk apertur som är i storleksordningen 3-5 gånger det största injekteringskornet sker en bättre inträngning med ett högre vct. Detta beror på att vid högre vct sker inträngningen av injekteringskornen mer enskilt.
- Vid injektering där aperturen är större än 5 gånger största injekteringskornet sker inträngningen som en sammanhållen suspension och stopp uppstår då friktionen är lika stor som de pådrivande krafterna.

### Resultat

I Figur 1 är penetrationen plottad mot tid. I legenden står B 20 för den finaste sanden och B 70 för den grövsta sanden. Förhållandet  $b/d$  står för förhållandet mellan teoretisk apertur mellan sandkornen genom kornstorleken för injekteringsmedlet och  $w/s$  är vatten/injekteringsmedel förhållande, vct.



Figur 1. Inträngning mot för de utförda experimenten med injektering av Myanit i sandkolonn.

### Diskussion

Inträngningen i sandkolonnen mättes som utflödande vatten från kolonnen. Dock visade det sig att det med tiden även skedde en dränering av vattnet genom kolonnen på grund av gravitation. Efter injektering plockades kolonnen ned och sanden tömdes manuellt. Det visade sig då att inträngningen i stort sätt motsvaras av den linjära delen av Figur 1 och efterföljande avböjningen förmodligen är ett mått på gravitationsdränering.

Experiment 1 utfördes i den fina sanden, B 20, med ett högt vct på 3,0. Förhållandet mellan teoretisk apertur och kornstorlek var mindre än 2 vilket innebar att ingen inträngning förväntades. I Figur 1 ser man dock att en viss inträngning sker men detta var begränsat till de översta centimetrarna och detta sker omedelbart vid start av injekteringen. Förmodligen beror detta på en sämre packning i det översta lagret och i princip sker ingen inträngning.

Experiment 2 och 3 utfördes i sanden C 40 M med samma förhållande mellan apertur och kornstorlek men med vct 1,0 respektive 3,0. Resultatet visar en inträngning på cirka 10 cm vid vct 1,0 och 30 cm vid vct 3,0. Dock var det en successiv minskning av injekteringsmedel i sanden från 10 till 30 cm vid högre vct. Då förhållandet mellan apertur och kornstorlek var runt 3 är detta på gränsen vad som var injekterbart. Resultatet visar att inträngning har skett men att inträngningen vid högre vct var längre samt att vid vct 1,0 var det ett mer distinkt stopp på inträngningen jämfört med vid vct 3,0 där injekteringsmedlet successivt minskade mot inträngningslängden

Experiment 4 utfördes med vct 1,0 vid ett förhållande mellan apertur och kornstorlek över 5 vilket innebär att det ska vara injekterbart. Vid försöken skedde mycket riktigt en snabb inträngning och injekteringskärlet tömdes efter enbart 3 minuter.

#### *Slutsatser*

De utförda experimenten tyder på att injektering med suspensioner såsom cement når stopp för inträngningen utgående från tre olika mekanismer. Vid en öppning mindre än tre gånger av kornstorleken för suspensionen sker ingen eller mycket begränsad inträngning p.g.a. igensättning av öppningen. Vid injektering med högre vct sker en inträngning där cementkornen är utspädda i vattnet och genom en filtreringsprocess fastnar injekteringskornen successivt längs flödesvägen. Vid lägre vct beter sig injekteringsmedlet som en mer enhetlig massa och stopp uppkommer vid jämvikt mellan pådrivande kraft och friktion mot omgivningen. Om man kopplar detta mot ”tjock på” konceptet och dess användning inom bergsprickinjektering innebär detta att den inledande injekteringen med högt vct sprider sig i stora delar av sprickplanet och fastnar vid förträngningar. När ett successivt lägre vct används minskas den yta som det kan penetrera i sprickplanet och en utfyllnad av de större flödesvägarna sker. Detta innebär att man kan tala om en mer 2-dimensionell (radiell) inträngning av högt vct och vid lägre vct sker mer 1-dimensionell (kanalflöde) inträngning. Detta innebär att en lägre genomsläpplighet är att förvänta jämfört med då enbart låga vct används. Det bör också påpekas att höga vct generellt har högre porositet och mindre styrka än lägre vct. Detta kan ha betydelse för injekteringsmedlets varaktighet. Det är även av stor betydelse att en ordentlig blandning av injekteringsmedlet sker så att man inte får en ihop klumpning av injekteringskornen.

#### *Tillkännagivande*

Arbetet har finansierats av SBUF och FoU-Väst tillsammans med Formas. Sandkolonnens layout har utformats i samarbete med Johan Funehag, Geo-avdelningen Chalmers och Professor Gunnar Gustafson har fungerat som granskare under arbetets gång.