

Cementinjektering – Handbok i materialteknik för injekterare

Elforsk Rapport 94:12

Cementinjektering – Handbok i materialteknik för injekterare

Pär Hansson
Vattenfall Utveckling AB, Betongteknik

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	1
SUMMARY	1
1. INLEDNING.....	1
2. CEMENTBASERADE INJEKTERINGSMEDEL	1
3. DELMATERIAL	2
3.1. Cement	2
3.2. Vatten	4
3.3. Tillsatsmedel	4
3.3.1. Flytmedel	4
3.3.2. Acceleratorer	5
3.3.3. Retarder	6
3.3.4. Luftporbildare	6
3.3.5. Skumdämpare.....	6
3.3.6. Svällande tillsatser	6
3.3.7. Stabiliserande tillsatser	7
3.4. Tillsatsmaterial.....	7
3.4.1. Silika	7
3.4.2. Slagg.....	7
3.4.3. Flygaska	7
4. INTRÄNGNINGSFÖRMÅGA	8
4.1. Vätskeegenskaper.....	8
4.2. Partikelegenskaper.....	9
5. TÄTHET OCH BESTÄNDIGHET.....	10
5.1. Täthet	10
5.2. Beständighet	12
6. HÅLLFASTHET.....	13
7. BLANDNING	15
8. MÄTNINGAR	16
8.1. Fältmätningar	16
8.2. Laboratiemätningar	18
9. SAMMANSÄTTNING AV INJEKTERINGSBRUK.....	19

BILAGEFÖRTECKNING

BILAGA A	TERMER OCH BETECKNINGAR	A1-3
BILAGA B	ALLMÄNNA BEGREPP OCH BERÄKNINGAR	B1-6
	Enhetsprefix	1
	Enheter	1
	Beräkningar	1
	Upphöjt till (exponentiella tal)	1
	Enhetsomvandling	2
	Area	4
	Volym	5
	Last eller kraft	5
	Spänning och tryck	5
	Densitet	6
BILAGA C	RECEPTBERÄKNING	C1-5
BILAGA D	LABORATIONER	D1-7
	Material	1
	Laboration 1a Dispergering och stabilitet	2
	Laboration 2a. vct och vattenseparation	3
	Laboration 2b. vct och konsistens	4
	Laboration 3a. Cementets finmalning och vattenseparation	5
	Laboration 3b. Cementets finmalning och konsistens	6
	Laboration 4. Överdoserings av accelerator	6
	Laboration 5. Flytmedel och konsistens	6
	Laboration 6. Sprickinjektering	7
BILAGA E	LITTERATUR	1

SAMMANFATTNING

Denna handbok är sammansatt för att kunna användas som en handledning i materialteknik för cementinjektering av utförandepersonal och projektörer m.m. såväl som vid utbildning. Med hänsyn till användning i samband med utbildning av utförandepersonal har grundläggande matematik och relaterade termer behandlats kortfattat i bilagorna.

Handboken behandlar de olika delmaterial som används vid sammansättning av injekteringsbruk, viktiga parametrar att beakta samt något om mätteknik. Utförandetekniken behandlas inte.

SUMMARY

This manual is written to serve as a guideline in applied materials science concerning modern cement grouting. The manual addresses contractors, consulting engineers etc. It can also be used in educational activities.

The subjects that are dealt with are; available components when composing cement grouts, important issues concerning this and something about measurement techniques. Grouting practice is not treated.

1. INLEDNING

Syftet med en injektering är att täta mot läckage och ibland att förstärka. För att en injektering skall lyckas ställs stora krav både på material och utförande. Om en injektering misslyckas, exempelvis vid tunneldrivning, kan detta få mycket kostsamma konsekvenser med svåra eller omöjliga efterinjekteringar med dyrbara injekteringsmedel.

Det som ligger framför Dig nu är ämnat som en handbok i grundläggande materialteknik för den som sysslar med injektering. Handboken behandlar endast cementbaserade injekteringsmedel och materialfrågor runt dessa samt en orientering om mätmetoder. Det är avgjort så att utvecklingen gått snabbare på materialsidan än vad som skett inom utförandetekniken, därför behandlas inte utförandet, i detta fall hänvisas till [1,2].

Man ska förhoppningsvis inte behöva några förkunskaper för att tillgodogöra sig handboken, men en viss erfarenhet av injektering eller betongarbete skadar naturligtvis inte. Presentationen görs utan vida teoretiska utvecklingar och vissa samband är i stor utsträckning förenklade.

Denna handbok redovisar kortfattat de material som finns att tillgå när ett injekteringsbruk sätts samman, samt vilka egenskaper som är viktiga för det färdiga injekteringsbruket, både i färskt och hårdnat tillstånd samt hur man kan mäta dessa egenskaper.

Vissa termer och uttryck förklaras närmare i bilaga A där en ordlista återfinns.

I bilagorna finns även ett avsnitt om allmänna matematiska beräkningar samt förslag på ett antal laborationer. Dessa avsnitt har inkluderats för att underlätta vid användande av handboken vid utbildning.

2. CEMENTBASERADE INJEKTERINGSMEDEL

Cementbaserade injekteringsmedel brukar benämnas injekteringsbruk eller cementbruk, i det följande kommer beteckningen injekteringsbruk att användas.

Ett injekteringsbruk är en blandning av cement, vatten och tillsatsmedel i bestämda proportioner, i det enklaste fallet ingår endast cement och vatten. Cementen löser sig inte i vattnet, utan behåller sin fasta form. Cementkornen hålls svävande i vattnet på grund av naturliga rörelser i vattnet och cementkornens ringa storlek. Ju mindre korn desto lättare hålls de svävande.

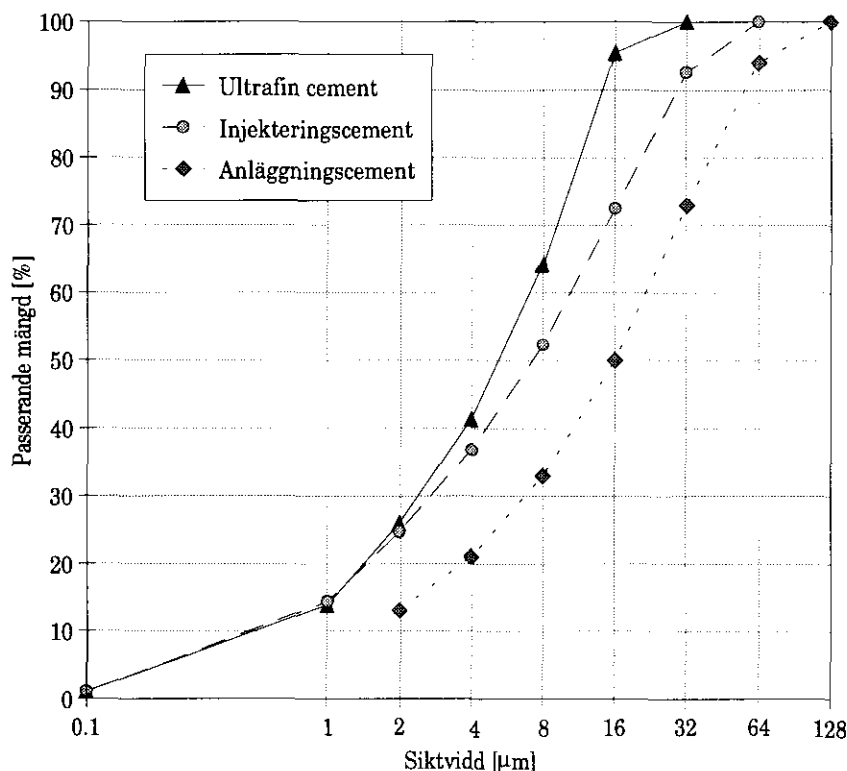
Blandningsproportionerna (receptet) för ett injekteringsbruk bestäms i förväg och är en avvägning mellan vct och dosering av olika tillsatsmedel för att erhålla önskade egenskaper. Vidare ska det vara bestämt i förväg vilka komponenter som ska ingå. Detta med avseende på cementfabrikat, tillsatsmedelfabrikat m m.

3. DELMATERIAL

3.1. Cement

Cement är sammansatt av en mängd mineraler som vid kontakt med vatten börjar reagera med detta (hydratisera) och bildar en hård, hållfast massa. Hårdnande av cementbruk och betong har alltså inget med torkning att göra, som är fallet t ex när lera torkar och blir någorlunda hållfast. Ett tecken på detta är att betong och cementbruk hårdnar även under vatten.

Cement innehåller korn av varierande storlek och form, vilket bl a beror på hur cementet är malt. Cement innehåller alltså inte bara korn av en enda storlek, utan en fördelning av storlekar, därför anges i det enklaste fallet endast maximal kornstorlek, eller om en mer detaljerad bestämning behövs, en siktkurva. Siktkurvan tas i princip fram genom att utnyttja det faktum att små partiklar bärs en längre sträcka i en luftström än större partiklar. Siktkurvor för tre typer av cement redovisas i figur 3.1.



Figur 3.1 Siktkurvor för olika cementtyper
Figure 3.1 Particle size distribution of different cements.

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

För att beskriva finmaldheten hos ett cement används två mått, maximal kornstorlek och specifik yta. Benämningen maximal kornstorlek är i många fall missledande då det i de flesta fall avses den kornstorlek vilken 95 % av kornen är mindre än. Specifik yta betyder den sammanlagda area en viss mängd partiklar har.

De cementtyper som används i en eller annan form av injektering kan indelas i tre huvudgrupper efter finmaldhet enligt tabell 3.1.

	Max kornstorlek [µm]	Specifik yta [m ² /kg]	Relativ kostnad, 1994, cirka
Standardcement.	120	300 - 400	1
Normal injekteringscement	64	ca 600	3
Mikrocement	16	800 -1200	≥6

Tabell 3.1 Cementtyper
Table 3.1 Different types of cement.

Även inom de olika grupperna förekommer ganska stora skillnader, olika mikrocementfabrikats maximala kornstorlek kan vara allt mellan 5 och 16 µm. Även kostnaden varierar därefter.

Förutom att finhetsgraden kan variera mellan cementtyperna kan även den kemiska sammansättningen skilja sig. Inom injekteringssammanhang kan man dock särskilja två huvudgrupper, nämligen:

- Portlandcement
- Slaggcement

För Portlandcementen består den huvudsakliga råvaran av kalksten och lera som bränns tillsammans för att forma s.k. cementklinker. Denna klinker mals sedan tillsammans med olika tillsatser, bl a gips och malhjälpmiddel för att producera det slutliga cementet.

Slaggcementen innehåller normalt även Portlandcement, men en stor del, 45 - 80 %, består av finmalen, specialbehandlad slagg från järntillverkning. Slaggcementen har vissa både för- och nackdelar i jämförelse med Portlandcementen. Bland annat ger slaggcementen en pasta som är beständigare mot urlakning (se 5.1. "Täthet") på grund av en lägre halt eller frånvaro av fri kalciumhydroxid. De ger å andra sidan sämre eller ingen självläkningsförmåga och sämre rostskydd för armering eller bultar.

Även inom dessa två huvudgrupper förekommer variationer i den kemiska sammansättningen. Vid tillverkningen utgår man från naturmaterial vilka varierar i sammansättning beroende på vilket brott man använder, därför anges i Sverige vilket brott cementets råvaror kommer ifrån, t ex Slite, Skövde eller Degerhamn.

Cementets kemiska sammansättning kan även anpassas för att tillmötesgå speciella krav, exempel på detta är sulfatresistent och lågalkaliska cement. Mer om detta finns i avsnitt 5.2 "Beständighet"

Förutom ovan nämnda typer finns ytterligare en cementtyp som kan komma i fråga vid injektering, nämligen aluminatcementet. Detta cement kännetecknas av ett mycket snabbt tillstyvnande och hårdnande. Nackdelen är att det kan vara svårt att styra och förutse hårdnandeförloppet vilket kan få förödande konsekvenser för exempelvis en kolloidkvarn. Dessutom är pastans beständighet tveksam.

3.2. Vatten

Som villkor för att vattnet är lämpligt för blandning med cement brukar nämnas att det ska vara drickbart. Det viktigaste att tänka på är att det inte får innehålla för mycket humus (bl a växtrester) då detta kan retardera eller helt upphäva hårdnandet, eller sulfater (se avsnitt 5.2 "Beständighet"). Om vattnet är illaluktande eller missfärgat är det definitivt olämpligt för användning i injekteringsbruk och betong.

3.3. Tillsatsmedel

En mängd olika tillsatsmedel används för att förändra cementbrukets egenskaper, dessa tillsatsmedel är i allmänhet desamma som används till betong. Tyvärr är den information som står att finna om tillsatsmedel nästan undantagslöst relaterad till användning i betong. Denna information är av högst begränsat värde när ett injekteringsbruk ska sättas samman, därför måste doseringar och kombinationer av tillsatsmedel alltid provas fram.

Dock bör inte tillverkarens rekommendationer om maximal dosering överskridas.

3.3.1. Flytmedel

Det i särklass mest använda tillsatsmedlet är flytmedlet som även benämns "superplasticerande medel" eller "vattenreducerare" beroende på användningssätt, funktionen är dock i stort sett densamma. Det finns tre huvudtyper av flytmedel på marknaden, dessa fungerar på samma sätt, men kan ge olika grader av bieffekter och kan vara olika effektiva i skilda tillämpningar. Huvudtyperna räknas upp i tabell 3.2.

Benämning	Korrekt namn
Melamin	Sulfonerat melaminformaldehydharts
Naftalen	Sulfonerat naftalenformaldehydharts
Lignosulfonat	Sulfonerad lignin

Tabell 3.2. De vanligaste flytmedlen

Table 3.2 The most common superplasticisers.

Lignosulfonat används mest som vattenreducerare i betong och är ovanligt i injekterings-sammanhang.

Flytmedel förekommer både i flytande och i fast form som pulver.

Flytmedlens verkan är att belägga cementkornen och göra att de stöter bort varandra, till större delen genom att ge kornen samma ytladdning (jämför med två magneter där lika poler stöter bort varandra). Detta har flera effekter, dels hjälper det till att skilja cementklumpar åt vid blandningen, dels hindras kornen att klumpa ihop sig och bilda större partiklar, dels agerar beläggningen som ett smörjmedel mellan partiklarna.

Efter inblandning av flytmedel har man ungefär en halvtimme på sig att utnyttja fördelarna, därefter är effekten förstörd. Denna tid brukar kallas "öppethållandetid".

Varje typ av flytmedel har olika nackdelar gentemot övriga:

- Melamin: Kort öppethållandetid
- Naftalen: Retarderande, luftindragande
- Lignosulfonat: Retarderande, luftindragande (se 3.3.3 "Retarder")

Vid dosering av flytmedel bör stor noggrannhet iaktas. Överdoserings kan leda till instabilitet, dvs cementet faller till botten och ett vattenskikt bildas på ytan, samt retarderad hållfasthetstillväxt. Underdosering leder till att önskad inträngningsförmåga inte uppnås.

Rekommenderad sättningsordning för flytmedel anges i vissa fall i tillhörande produktblad, generellt sett bör dock flytmedel tillsättas bruket efter att cementet satts i vattnet för bästa effekt. Effekten försämras nämligen om flytmedlet kommer i kontakt med torr cement.

3.3.2. Acceleratorer

Acceleratorer används för att ge cementbruket ett snabbare hårdnande eller tillstyvnande. Dessa påverkar cementets reaktion med vatten och gör den snabbare. Nedan nämns några exempel på acceleratorer.

- Kalciumklorid (Vägsalt)
- Natriumhydroxid (Kaustiksoda)
- Kaliumkarbonat (Pottaska)
- Natriumtiocyanat
- Natriumaluminat

Ett exempel på en tillsats som benämns accelerator men egentligen inte är det är vattenglas eller (alkali)silikat, vilket huvudsakligen reagerar med ämnen i cementet och bildar en separat massa med viss hållfasthet mellan cementkornen och ger cementbruket ökad styvhet. Cementreaktionen i sig accelereras inte eller i begränsad omfattning.

Acceleratorer måste doseras mycket noggrant, feldosering kan medföra allt ifrån att man i stället för acceleration får en retardation till helt okontrollerat hårdnande i blandaren.

Acceleratorer levereras ofta som fast material (pellets, pulver) eller koncentrerade lösningar. Därför bör acceleratorer tillsättas blandningsvattnet innan cementet tillsätts. Om acceleratoren tillsätts efter cementet kan, på grund av lokalt höga koncentrationer, klumpbildning uppstå. Dock existerar vissa system där acceleratoren tillsätts via en sk statisk blandare vid manschetten.

Acceleratorer kan påverka beständigheten hos den hårdnade cementpastan negativt samt nedsätta hållfastheten. Kalciumklorid kan även medföra att armering och bultar börjar rosta.

3.3.3. Retarder

Retarder verkar tvärtom mot acceleratorer, dvs de fördröjer cementreaktionerna. De kan användas i två syften av vilka bara det första är aktuellt vid injektering.

- Förlänga öppethållandetiden.
- Fördröja hårdnandet.

Även här måste dosering ske med största noggrannhet, feldosering kan medföra acceleration med vissa medel eller att hårdnandet helt upphävs.

Exempel på retarder:

- Hydroxi-karboxylsyrederivat
- Socker
- Fosfater
- Citronsyra
- Lignosulfonat

3.3.4. Luftporbildare

Luftporbildare, vilka ofta är någon typ av tensid (såpa och tvättmedel är till största delen tensider), tillsätts betong för att öka frostbeständigheten vilket knappast kan vara aktuellt för ett injekteringsbruk. Däremot har luftporbildare en trevlig bieffekt, de förbättrar flytbarheten på ett liknande sätt som flytmedlen, dock inte i samma omfattning. Dessutom finns några ej helt klarlagda teorier om att denna typ av tillsatsmedel kan hjälpa till att väta sprickväggarna och därmed underlätta inträngningen.

Förmodligen innehåller många av de ospecificerade "injekteringshjälpmedel" som florerar i resten av världen en kombination av tensider och flytmedel.

3.3.5. Skumdämpare

Skumdämpare eller skumbrytare används för att ta bort oönskad luftinblandning orsakad av te x flytmedel eller tensider.

3.3.6. Svällande tillsatser

Svällande tillsatser blandas i injekteringsbruk för att motverka den volymminskning som annars alltid sker när cementet börjar reagera med vattnet. Avsikten är att volymminskningen inte ska medföra att sprickor blir ofullständigt fyllda. Svällande tillsatser baseras i allmänhet på fint aluminiumpulver. Denna typ av tillsats inverkar negativt på täthet och hållfasthet.

3.3.7. Stabiliserande tillsatser

Stabiliserande tillsatser används för att motverka vattenseparation, dvs att cementkornen faller till botten och ett vattenskikt bildas på ytan. Bentonit hör till den här kategorin och är en speciell typ av lera. Bentonit levereras torrt i pulverform, men för att den skall få full effekt krävs att den blandas med vatten i förväg och tillåts "mogna" i några timmar upp till ett dygn. Vanlig sammansättning är 1 del bentonit och 15 delar vatten. Bentonit nedsätter hållfastheten och inträngningsförmågan. Andra exempel på stabiliserande tillsatser är silika samt olika slags polymerer.

3.4. Tillsatsmaterial

Tillsatsmaterialen är material som tillsätts för att dryga ut cementen, sänka värmeutvecklingen eller för att ge den hårdnade cementpastan ökad täthet eller hållfasthet. De tillsatsmaterial som beskrivs här benämns även "pozzolaner", det är ett samlingsnamn för produkter som inte kan bilda en hållfast pasta i reaktion med vatten på egen hand, utan behöver kombineras med portlandcement eller t ex kalk för att hydratisera. Gemensamt för de tillsatsmaterial som beskrivs nedan, är att de förbrukar kalciumhydroxid under dess hydratisering, varför de minskar risken för urlakning. Däremot sänks / försvinner förmågan till självläkning motsvarande grad, beroende på dosering. Vidare försämras cementpastans rostskyddande inverkan.

3.4.1. Silika

Silika, eller silikastoff, är en biprodukt av aluminiumtillverkning. Den består av amorf (glasliknande) kiseldioxid och är mycket finkornig, max kornstorlek ca 0.1 µm och en specifik yta omkring 20 000 m²/kg. Dess kornstorlek brukar jämföras med den hos cigaretttrök! Silika tillsätts i doseringar runt 2 - 8 % C för att öka tätheten eller för att minska vattenseparation. Användande i injekteringssammanhang är relativt ovanligt.

Silika levereras antingen som pulver eller som slurry.

3.4.2. Slagg

Slagg som beskrevs under avsnitt 3.1 "Cement" kan även tillsättas separat. Vanligen byts ca 45% av cementen ut mot slagg, men upp till 80% kan förkomma. Den slagg som används som tillsatsmaterial är specialbehandlad masugnsslagg från järntillverkning.

3.4.3. Flygaska

Flygaska produceras vid reningen av rökgaser från kolkraftverk och är normalt av mycket varierande kvalitet. Detta gör det svårt att förutse vilken verkan flygaskan har mellan olika leveranser. Används veterligen inte i samband med injektering.

4. INTRÄNGNINGSFÖRMÅGA

För att beskriva hur ett injekteringsbruk tränger in i sprickor och håligheter kan se på det ur två synvinklar. Man kan dels betrakta injekteringsbruket som en vätska och inte bry sig om att det egentligen är partiklar som hålls svävande i vatten medan i andra situationer är det just detta sistnämnda faktum som styr injekteringsresultatet.

4.1. Vätskeegenskaper

Vätskeegenskaperna kan beskrivas med två mått, viskositet och flytgräns. Viskositeten är ett mått på hur trögflytande en vätska är. Jämför hur snabbt det går att hålla ur en flaska med olja och en flaska med vatten eller T-sprit. Oljan har högsta viskositeten, därför är den "trögare". Även mellan vatten och T-sprit är det skillnad, men den är så liten att den inte märks direkt.

Viskositeten hos ett injekteringsbruk påverkar brukets strömningshastighet i sprickan, dvs den bestämmer hur snabbt en injektering går. Viskositeten påverkas av vct, flytmedel, cementets finhet och andra tillsatsmedel. Följande åtgärder minskar viskositeten:

- Ökat vct
- Tillsättning av flytmedel
- Användning av grovmalet cement

Injekteringsbruks viskositet varierar mellan 5 gånger och upp till över 200 gånger vattens viskositet. Viskositet anges i Pa·s (Pascalsekunder) eller cP (centipoise). 1 cP är lika med 0.001 Pa·s. Vattens viskositet är 1 cP.

Flytgränsen är ett mått på brukets (skjuv)hållfasthet innan och efter det börjat flyta som en vätska, jämför med ketchup som måste skakas till innan det börjar flyta ur flaskan och formar "högar" på tallriken när man låter det vara. Alla vätskor uppvisar inte flytgräns, ett enkelt sätt att bestämma detta är att hålla upp vätskan i en mugg och se om ytan blir jämn. Om ytan är spegelblank har vätskan ingen eller mycket låg flytgräns.

De vätskor som har en flytgräns är oftast s.k. suspensioner, dvs fasta partiklar och vätska blandat, (injekteringsbruk, ketchup och tandkräm) andra exempel är luft, olja och vatten (vispgrädde) samt olja och vatten (dressing).

Flytgränsen bestämmer hur långt in i en spricka bruket kan tränga. Om bruket trängt in tillräckligt långt och skjuvhållfastheten är tillräckligt hög balanserar skjuvspänningarna mot sprickväggarna ut injekteringsstrycket och bruket stannar. Om flytgräns saknas kan bruket teoretiskt sett tränga oändligt långt in i en spricka, vilket å andra sidan även tar oändligt lång tid. Ett bruk med flytgränsen 10 Pa tränger dubbelt så långt in i en given spricka än vad ett bruk med flytgränsen 20 Pa gör, förutsatt att man injekterar till stopp och att inte partikelegenskaperna inverkar.

Flytgränsen påverkas på samma sätt av vct, flytmedel och finmalning som viskositeten. Ett injekteringsbruks flytgräns ligger normalt mellan 0 och 20 Pa, men även högre förekommer. Injekteringsbruk är, såsom de flesta suspensioner, ofta tixotropa. Med tixotropi menas att viskositet och flytgräns sjunker om bruket rörs om. Jämför med vissa målarfärger som blir

lättflytande vid omrörning eller bearbetning med pensel för att efter en stunds vila återta sin tjockflytande konsistens.

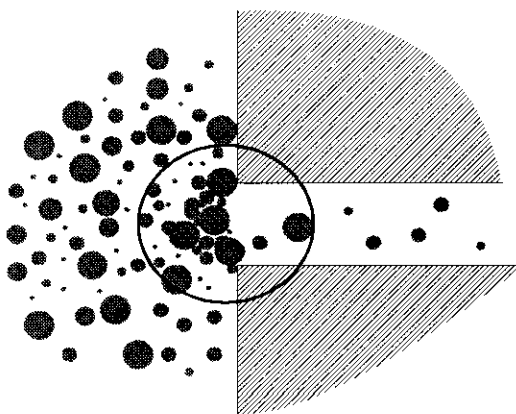
Denna egenskap kan vara till nytta vid injektering mot vattentryck då bruket styvnar när pumpningen upphör och får då en större förmåga att motstå tillbakatryckning.

4.2. Partikelegenskaper

Partikelegenskaperna påverkar resultatet i mycket fina sprickor, vid skarpa kanter och ojämnheter. Den mest markerade begränsningen partikelmässigt är att ett cementkorn inte kan komma in i en mindre spricka än sin egen storlek. Verkligheten är inte ens så gynnsam, utan sprickor kan sättas igen även om de är mycket vidare än cementets maximala kornstorlek. Vad detta beror på är inte helt klarlagt, men tydligt är att olika cementfabrikat klarar injektering utan att bilda plugg olika bra. Denna egenskap benämns filtreringsstabilitet, på grund av att det som händer är en avfiltrering av cementpartiklar från injekteringsbruket.

En gammal tumregel säger att sprickor finare än 3 gånger cementets maximala kornstorlek går inte att injektera. Enligt vad som sagts tidigare är det vanskligt att göra en så drastisk generalisering då det finns avsevärda skillnader mellan olika cementfabrikat, även om de har samma maximala kornstorlek, men det kan tjäna just som en tumregel tills vidare.

Figur 4.1 visar principen för avfiltrering av cementbruk.



Figur 4.1 Cementkorn som bildar plugg vid ingången till en spricka
Figure 4.1 Cement particles clogging the entrance of a crack.

En annan tumregel finns för jordinjektering, en relation mellan kornstorleksfördelning hos mediet och cementet, den s k D_{15} / d_{85} -regeln. Denna regel ställer upp minimivärden för kvoten mellan kornstorleken vid 15 % passerande mängd för jorden som skall injekteras och kornstorleken vid 85 % passerande mängd för cementen. Ett ofta angivet krav är att D_{15} / d_{85} bör vara större än 25 för att injektering ska vara möjlig.

Filtreringsstabiliteten, dvs brukets förmåga att injekteras utan att bilda plugg, ökar generellt med ökande vct, den har inte så mycket med maximal kornstorlek att göra som man skulle kunna tro. Vilka andra faktorer som påverkar filtreringsstabiliteten, och hur mycket, är i dag till stor del oklart. Därför måste filtreringsstabiliteten mätas i varje enskilt fall om den bedöms vara en kritisk parameter.

5. TÄTHET OCH BESTÄNDIGHET

Det hjälper inte om ett injekteringsbruk har så bra inträngningsförmåga att det tränger in överallt om slutprodukten läcker vatten eller förstörs med tiden. Därför finns det en mängd krav som måste ställas på den hårdnade produkten som i mångt och mycket samverkar. Täthet är det första grundkravet och beständighet det andra, de samverkar såtillvida att om man har en dålig täthet kan man inte heller räkna med en god beständighet

5.1. Täthet

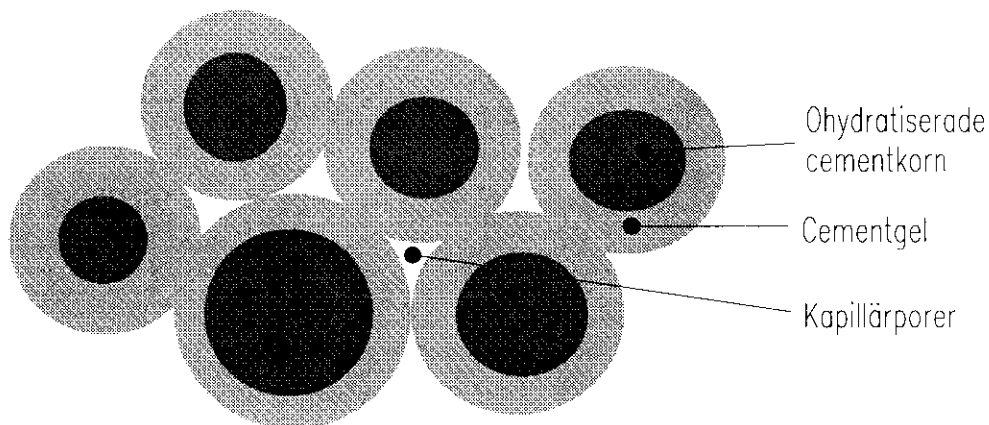
Tätheten hos en hårdnad cementpasta beror på följande:

- Vct
- Cementets specifika yta
- Hydratiseringsgrad. (Hur långt cementet hunnit i hårdnandeprocessen)

Vct och cementets specifika yta bestämmer hur nära varandra cementkornen befinner sig. Lägre vct och högre specifik yta gör att partiklarna kommer närmare varandra. Detta leder till:

- Lägre vct: Ökad täthet
- Högre specifik yta: Ökad täthet

Detta medför i sin tur att man kan tillåta ett högre vct för ett mikrocement med bibehållen täthet jämfört med ett grövre cement.



Figur 5.1 Schematisk bild av hydratiserande cementpasta
Figure 5.1 Outline of cement grains undergoing hydration.

Det är i princip storleken på kapillärporerna i figur 5.1, och om de hänger samman, som bestämmer cementpastans täthet. Med ett normalcement finns inga sammanhängande kapillärporer under vct 0.7. Om vct är tillräckligt lågt (0.39) fylls kapillärporerna helt igen av cementgel vid fullständig hydratisering.

Vid högre hydratiseringsgrad är en större del av utrymmet mellan cementkornen fyllt av cementgel (produkten av cementets reaktion med vatten), ju mer av utrymmet som är uppfyllt,

desto större täthet. Detta medför att en cementpasta som hårdnat i en månad i allmänhet är tätare än en som hårdnat i en vecka.

Även vissa tillsatser som bentonit och svällmedel kan nedsätta tätheten hos cementpastan.

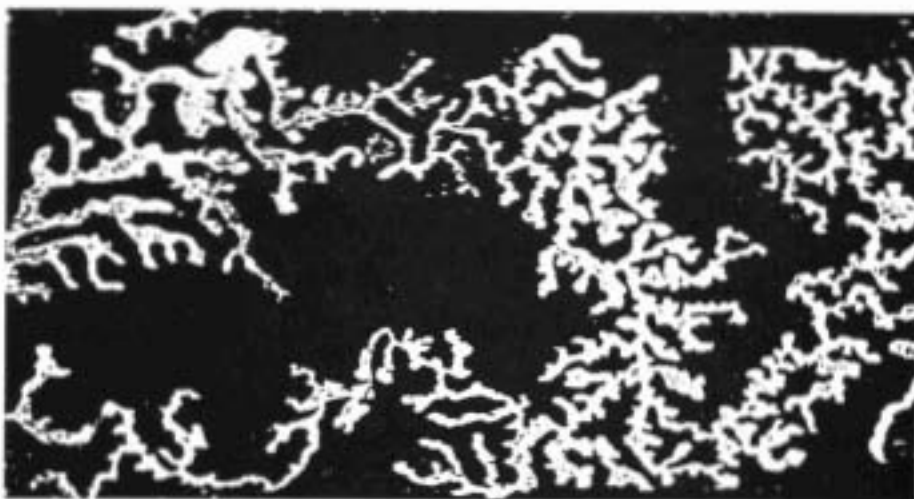
Om man tittar på ett injekteringsbruks totala förmåga att täta en spricka, räcker det inte med att själva cementpastan är tät, den måste även fylla ut sprickan. Detta är inte fallet när injekteringsbruket har en stor vattenseparation. I vida sprickor bildas ett vattenskiikt på överytan som gör att grundvatten kan läcka förbi ovanför pastan enligt figur 5.2.



Figur 5.2. Ofullständig sprickutfyllnad i grov spricka pga vattenseparation. Sprickplanet ligger vinkelrätt mot papperets plan.

Figure 5.2 Incomplete filling of wide crack due to bleeding. The plane of the crack is perpendicular to the plane of the paper.

I tunna sprickor blir beteendet ett annat, i stället för att vattnet samlas ovanpå bruket bildar det kanaler, "myrgångar", där vatten kan läcka förbi. Detta visas i figur 5.3.



Figur 5.3 Ofullständig sprickutfyllnad i tunn spricka pga vattenseparation. Sprickplanet ligger i papperets plan.

Figure 5.3 Incomplete filling of fine crack due to bleeding. The plane of the crack is in the same plane as the paper.

Ett bruk med liten vattenseparation, vilket man brukar benämna ett stabilt bruk, åstadkoms genom att:

- Hålla ett lågt vet
- Använda en effektiv blandare (som slår isär cementklumpar)
- Använda finkornigt cement
- Tillsätta stabiliserande tillsatsmedel

Det fall när grövre cementpartiklar och eventuella klumpar faller till botten kallas sedimentation. Detta ger inte upphov till lika allvarliga konsekvenser som vattenseparation, men är likväl ett oönskat fenomen. När sedimentation inträffar sänks vct i botten på håligheten då mer cement samlas där, följaktligen höjs vct i hålighetens övre regioner där tätheten kan bli otillräcklig.

Sedimentation kan vara ett tecken på otillräcklig dispergering, felaktig dosering av tillsatsmedel, fel sammansättning av bruket i övrigt eller att föroreningar, t ex olja, kommit i kontakt med bruket.

5.2. Beständighet

En cementpasta kan brytas ned på olika sätt, de vanligaste är:

- Urlakning
- Sulfatangrepp
- Alkali-kiselreaktioner
- Frostangrepp

De två senare torde inte förekomma i injekteringssammanhang, men urlakning och sulfatangrepp förekommer relativt ofta.

Urlakning framkallas av att vatten strömmar genom eller förbi cementpastan, varvid cementpastans mest lösliga komponent, kalciumhydroxiden löses i vattnet och cementpastan bryts ned. Denna urlakning märks där läckvattnet rinner ut i luften som "kalkutfällningar" vilket är kalciumkarbonat som bildas när kalciumhydroxiden reagerar med luftens koldioxid, samma reaktion som vid hårdnande av kalkbruk för murning och putsning.

Dessa kalkutfällningar kan dock ha en positiv bieffekt, nämligen att läckvägar självtätas och att vidare urlakning därigenom hindras.

För att undvika urlakning måste man se till att ha en tät pasta som inte separerar, se avsnitt 5.1 "Täthet".

Sulfatangrepp är en kemisk reaktion där sulfater i läckvattnet (relativt vanligt i bergvatten) reagerar kemiskt med beståndsdelar i cementpastan och bildar produkter med större volym än ursprungskomponenterna, man får helt enkelt en svällverkan.

Sulfatangrepp undviks genom att använda ett sulfatresistent cement (SR-cement) vilket är sammansatt för att undvika dessa problem. Naturligtvis bidrar även en hög täthet till att undvika sulfatangrepp då läckvattnet inte kommer in i cementpastan och får en chans att reagera.

6. HÅLLFASTHET

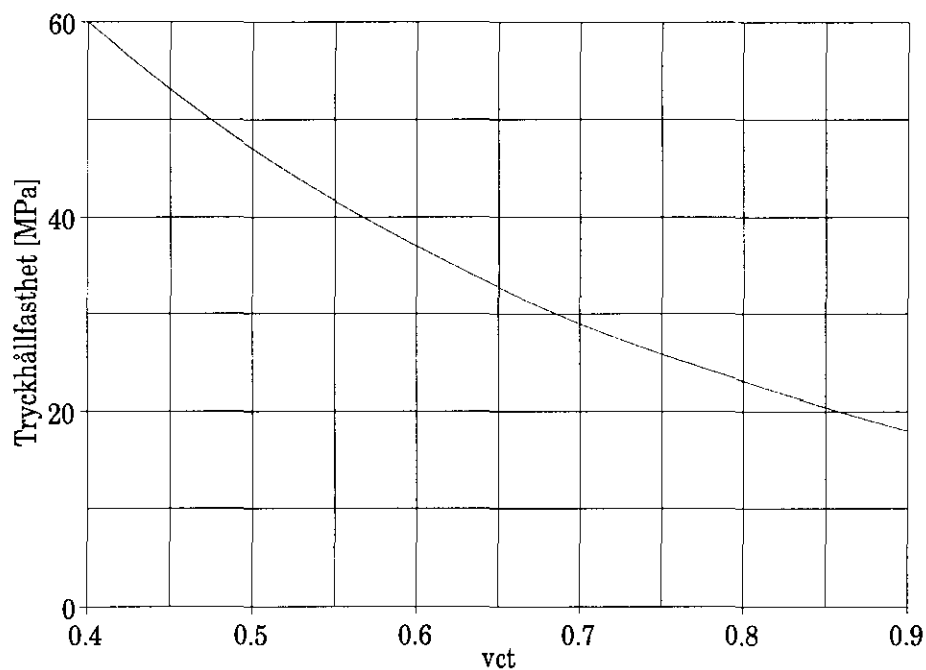
En egenskap som är viktig främst vid tunneldrivning är injekteringsbrukets hållfasthetstillväxt. Denna hållfasthetstillväxt kan något förenklat indelas i två faser:

Gelning: Cementpartiklarna binds svagt till varandra, en viss skjuvhållfasthet om ett antal kPa kan uppnås. Inom denna period vilken varar i storleksordningen 10 timmar, beroende på brukssammansättning och temperatur, är bruket tixotropt. Tixotropi innebär att bruket kan återgå till flytande form om det utsätts för störning, t ex av sprängning. Hållfastheten under denna period kan mätas med fallkon enligt avsnitt 8 "Mätningar".

Hårdnande: När det riktiga hårdnandet inletts, vilket inträffar ungefär vid bindetiden, upphör även brukets tixotropa beteende. Detta innebär att borrar, sprängning och övriga aktiviteter kan företas långt mer riskfritt efter bindetiden än före. Hårdnandeprocessen löper från bindetiden och i princip oändlig tid efter detta. Bindetiden mäts med "VICAT-nål" och hållfastheten under hårdnandefasen mäts exempelvis enligt metod för tryckhållfasthet, för båda metoderna se avsnitt 8 "Mätningar".

Hållfasthetstillväxten i gelningsfasen är tämligen starkt beroende av vilka tillsatsmedel som används. Flytmedel förlänger bindetiden och nedbringar gelhållfastheten men nedsätter i allmänhet inte sluthållfastheten, snarare tvärtom då de medför en lägre porositet hos cementpastan. Vissa acceleratorer ökar hållfasthetstillväxten starkt i gelfasen men behöver inte avkorta bindetiden i motsvarande omfattning. Acceleratorer kan även nedsätta sluthållfastheten. Se vidare under avsnitt 3.3 "Tillsatsmedel"

Termen "sluthållfasthet" går egentligen inte att definiera då hållfasthetstillväxten aldrig avstannar om inte cementpastan utsätts för ogynnsamma miljöbetingelser. Man brukar i stället ange betongs och cementbruks tryckhållfasthet vid 28 dygns ålder. Denna tryckhållfasthet har ett starkt samband med vct såvida inte tillsatsmedel som nedsätter hållfastheten används. I figur 6.1 redovisas ett ungefärligt samband mellan vct och tryckhållfasthet hos betong [3].



Figur 6.1 Ungefärligt samband mellan vct och tryckhållfasthet hos betong. Ur [3].

Figure 6.1 Approximate relation between w/c-ratio and compressive strength of concrete. From [3].

De hållfasthetsvärden som redovisas i figur 6.1 kan anses som konservativa, trots detta kan man inte räkna med att få särskilt mycket högre värden vid provning av tryckhållfastheten hos injekteringsbruk. Detta beror på att frånvaron av ballast gör proverna mycket spröda vilket gör resultaten känsliga för provningens utförande.

Hållfasthetstillväxten med en given kemisk sammansättning av cementet blir snabbare med ökande finmalningsgrad, sluthållfastheten påverkas dock inte.

7. BLANDNING

Blandningens utförande är av mycket stor betydelse för injekteringsresultatet. Med den allmänt använda termen "blandning" menas här dispergering vilket innebär att ihopklumpade cementpartiklar slås isär och hålls isär. Dispergering åstadkoms genom att utsätta bruket för en högeffektiv bearbetning med avseende på skjuvhastighet och / eller tryckskillnader. Denna typ av bearbetning erhålls t ex i den vanliga kolloidkvarnen, dock har det visat sig att även mindre dispergeringsverktyg avsedda för andra industriella tillämpningar är väl skickade för dispergering av injekteringsbruk.

Blandningsverktyg monterade på bormaskiner eller långsamtgående blandare avsedda för t ex bultbruk är exempel på utrustning som inte är lämpade för blandning av injekteringsbruk.

Användande av flytmedel som ibland benämns dispergeringsmedel, ska inte tas till intäkt för att maskinell dispergering är onödig. Även bruk med flytmedel måste dispergeras maskinellt för att fungera tillfredsställande.

Med god dispergering åstadkommer man följande:

- God inträngningsförmåga
- Liten vattenseparation
- Liten sedimentation

Det är även viktigt att blandaren är i gott skick. Om den är sliten eller svårt nedsmutsad försämrar dispergeringseffekten (se 8.1 "Fältmätningar"). Om den läcker olja blir bruket förstört. Det senare gäller naturligtvis även övrig utrustning som omrörare och pumpar.

8. MÄTNINGAR

Injekteringsbruk kan klassificeras och dess egenskaper utvärderas genom en rad olika mätningar. Dessa mätningar kan läggas på olika ambitionsnivåer. Den högre ambitionsnivån rör mätningar som i praktiken svårligen kan utföras annat än på laboratorium. Den lägre ambitionsnivån, som inte för den skull behöver ge sämre eller mindre giltig information, är de provningar som lämpar sig för fältbruk.

I det följande ges endast en kortfattad orientering om de vanligaste provningsmetoderna, dock ges även hänvisning till standarder eller skrifter där metoderna beskrivs närmare.

8.1. Fältmätningar

De mätmetoder som redovisas här är relativt enkla att utföra och kräver endast okomplicerad utrustning, varför de passar att utföra på arbetsplatsen eller i närheten av denna.

Marshkon: En uppfattning om viskositeten hos ett injekteringsbruk kan fås genom att mäta tiden för en liter bruk att rinna ut ur en s k Marshkon. Denna provning säger inte speciellt mycket om brukets inträngningsförmåga, men har fördelen av att vara en etablerad metod för kvalitetsuppföljning av injekteringsbruk. Marshkonen beskrivs i [1].

Stigrör: Brukets flytgräns kan utvärderas med ett stigrör, vilket beskrivs i [4]. Bruket måste behandlas med stor noggrannhet vid denna mätning då resultatet är starkt beroende av vilken störning bruket utsatts för p g a sina tixotropa egenskaper.

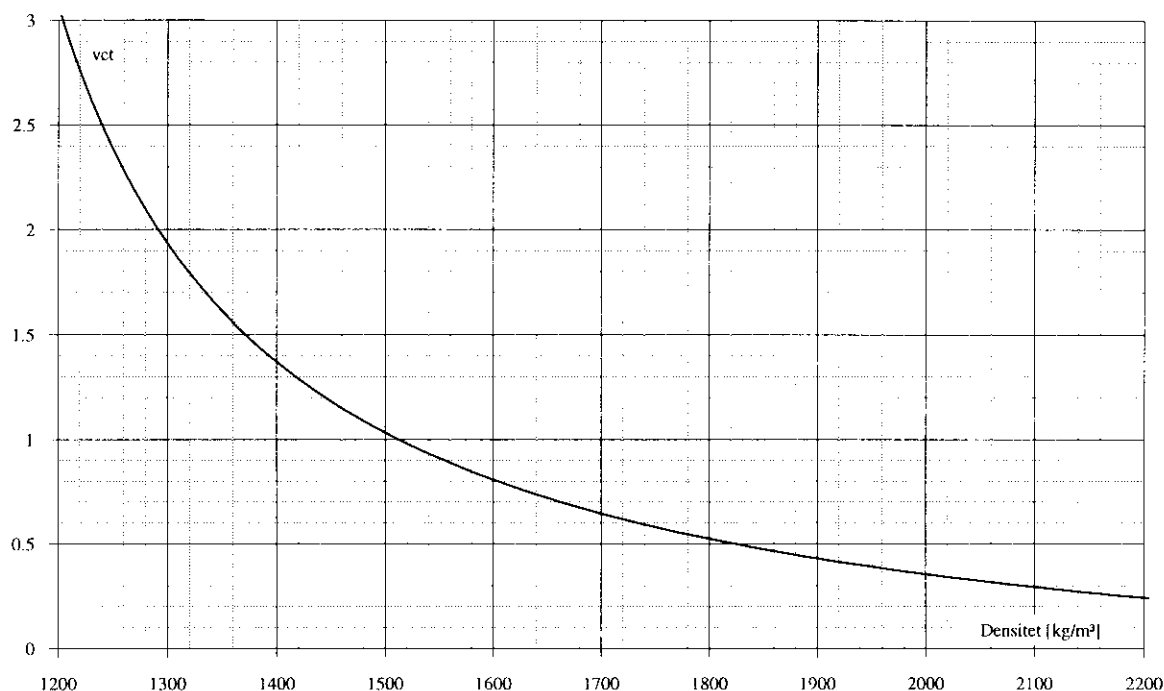
Filtrering: Filtreringsprov kan även utföras med fältprovningsutrustning som beskrivs i VU-SC:27 (Vattenfall Utveckling AB:s metodbeskrivningar). Denna provningsmetod kommer även att etableras som EN-standard.

Densitet: Bruket vägs i en speciell våg benämnd "Mud-Balance" där densiteten kan utläsas direkt på skalan. Denna information är värdefull då densiteten kan översättas till vct och därmed kan man kontrollera om det specificerade bruksreceptet följs. Den uppmätta densiteten kan översättas till vct enligt följande samband:

$$vct = \frac{1}{\frac{6510}{3100 - \rho} - 3.1}$$

där ρ representerar densiteten i kg/m^3 . Om det beräknade vct avviker från det avsedda kan vattentillsatsen justeras med ledning av resultatet.

Detta samband redovisas även i figur 8.1.



Figur 8.1 Samband mellan densitet och vct

Figure 8.1 Relation between weight density and w/c-ratio of cement paste.

Vattenseparation: Bruket hålls upp i ett mätglas och brukspelarens höjd registreras. Därefter mäts brukspelarens höjd och höjden av det vatten som eventuellt samlats på ytan i bestämda tidsintervall. Vattenseparation och volymändring uttrycks sedan i procent. Denna provning utförs i enlighet med SS 13 75 31 "Vattenseparation och volymändring".

Bindetid: Penetrationsdjupet av en nål med bestämda mått och bestämd vikt mäts med hjälp av en s k VICAT-apparat. Denna metod beskrivs i SS 13 42 31. Metoden visar när brukets hårdnandeprocess startar.

Ett ungefärligt begrepp om bindetider går att få genom att hålla upp bruk på muggar och känna på det med händerna.

Hållfasthetstillväxt: Brukets skjuvhållfasthet mäts vid olika tidpunkter med en s k fallkonapparat ursprungligen avsedd för mätning av hållfasthet hos lera. Metoden beskrivs i SS 02 71 25.

Temperaturhöjning: Blandarens kondition kan utvärderas genom att mäta temperaturen i bruket vid minst två tillfällen under blandningen. Temperaturmätningarna räknas om till temperaturhöjning i t ex °C/min, om blandaren börjar bli sliten blir temperaturhöjningen mindre. Samma brukssammansättning ska användas vid en jämförelse av mätvärden. Användaren måste själv bygga upp en erfarenhet av sambandet mellan temperaturhöjning och förslitningsgrad.

8.2. Laboratiemätningar

I laboratorium kan de mätningar och tester utföras som kräver stora, komplicerade och känsliga utrustningar. Man kan även utföra t ex halvskaletester där verkligheten efterliknas men under mer kontrollerade former. Nedan följer en beskrivning av några vanliga tester som kan utföras i laboratorium.

- Sandkolonninjektering:** Här packas sand av en bestämd kornstorleksfördelning i ett plexiglasrör. Sanden injekteras och bruksfronten kan följas genom det genomskinliga röret. Man kan genom detta test bilda sig en uppfattning om injekteringsbrukets funktion under injekteringsliknande förhållanden. Både filtreringsstabiliteten och reologin hos bruket påverkar resultatet. En europastandard, utgående från en fransk standard, är under utarbetande.
- Reometermätning:** Injekteringsbrukets reologi utvärderas genom att en cylindrisk kropp roteras nedsänkt i bruket. Rotationshastigheten varieras och erforderligt vridmoment (kraft $\times$ hävstång) mäts. Genom matematisk analys av förhållandet mellan rotationshastighet och vridmoment erhålls värden för flytgräns och viskositet.
- Spaltinjektering:** En konstgjord spricka tillverkad av t ex stål injekteras. Om glas används så att man kan betrakta bruksfronten och det injekterade bruket kan användbar information om brukets beteende under sprickinjektering utvinnas.
- Filtrering:** Injekteringsbruk pressas genom ett filter av siktduk med bestämd maskvidd (storleksordningen 0.1 mm), genomfluten mängd före stopp registreras. Denna provning ger ett begrepp om vilken förmåga bruket har att passera tvära sektionsförändringar utan att filtreras ur, bilda plugg och förhindra ytterligare inträngning.
- Vattentäthet:** Provkroppar gjuts av injekteringsbruket. Dessa tillåts hårdna varefter de utsätts för ett vattentryck under ett dygn. Därefter klyvs provkroppen och vattnets inträngningslängd mäts. Denna mätning kan endast utföras på bruk med relativt lågt vct.
- Tryckhållfasthet:** De hårdnade proverna från mätning av vattenseparation enligt ovan sågas och planslipas för provtryckning. Metoden beskrivs i SS 13 75 33.

9. SAMMANSÄTTNING AV INJEKTERINGSBRUK

Som förmodligen har framgått råkar man på många motsatsförhållanden vid sammansättning av ett injekteringsbruk. Exempelvis ger högt vct goda inträngningsegenskaper men dålig stabilitet och täthet. Detta gör att sammansättningen hela tiden blir mer eller mindre en kompromiss där situationen i vilken injekteringsbruket ska verka får ange vilka egenskaper som ska prioriteras. Om fina sprickor ska injekteras ställs stora krav på att bruket är filtreringsstabil och har en låg flytgräns, om däremot öppna starkt vattenförande sprickor ska tätas måste bruket vara styvare med en hög flytgräns, dessutom måste det tillstyvna snabbt.

Med enbart cement och vatten får man färre möjligheter att styra sitt injekteringsbruks egenskaper, man kan endast variera vct och cementtyp. Om man däremot använder flytmedel och andra tillsatser kan nackdelarna med ett lågt vct kompenseras till stor del. Flytmedel påverkar injekteringsbrukets vätskeegenskaper såtillvida att viskositet och flytgräns sänks, påverkan på partikelegenskaperna är däremot mer blygsam.

Som exempel på flytmedlets effekt kan nämnas att ett injekteringsbruk med vct 0.6 och 3 % C melaminflytmedel har ungefär samma konsistens som ett bruk baserat på samma cement med vct 1.0 utan flytmedel. Man kan däremot räkna med långt bättre beständighet och stabilitet för det förra bruket. Däremot har det senare bruket i allmänhet något bättre filtreringsstabilitet.

Vilken sammansättning av injekteringsbruket som bör väljas är som sagt beroende på vilka egenskaper som är önskvärda, detta kan naturligtvis variera bl a beroende på berg- betong- eller jordkvalitet. Vidare varierar optimalt vct och optimal dosering av tillsatsmedel beroende på vilka grundmaterial man använder. Några generella råd kan dock ges under förutsättning att stabila bruk används i största möjliga utsträckning. Nedanstående råd ska tas som utgångspunkt för en förprovning då det är omöjligt att förutse alla effekter av variationer hos komponenterna.

- Om bästa möjliga inträngning önskas för ett stabilt bruk, bör vct ligga precis på gränsen till att vattenseparation föreligger. Detta innebär för ett mikrocement med $d_{\max}$ 16 μm ett vct på ca 0.8. Motsvarande vct med injekteringscement är ca 0.6. Vidare ska flytmedel tillsättas i "full" dosering, vilket innebär att ingen ytterligare förbättring av inträngningsförmågan erhålls vid ytterligare höjning av doseringen. Denna dosering ligger vanligtvis inom området 3.5 - 4 % C. Högre dosering får endast till följd en onödig fördröjning av hållfasthetstillväxten.
- Om man eftersträvar stopp i injekteringen av relativt fina kanaler, ska flytmedeldoseringen alternativt vct sänkas med utgångspunkt från ovanstående sammansättningar. En flytmedeldosering om 0 - 2% C kan vara lagom. Vilken sammansättning som är lämplig varierar dock mycket starkt beroende på ingående material och karaktären hos de hålrum som injekteras.
- Vid injektering av grövre kanaler, eventuellt mot vattentryck, ska i allmänhet inget flytmedel användas. I synnerhet vid injektering mot vattentryck kan en accelerator behöva tillsättas för att undvika bortspolning av bruket. Acceleratordoseringen beror i mycket hög grad på ingående komponenters beskaffenhet, därför måste sammansättningen alltid tas fram genom förprovning.

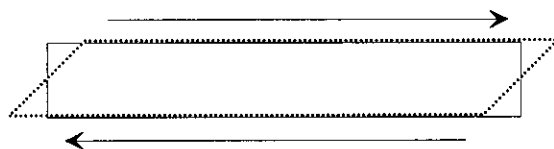
- Vid mycket svåra injekteringsförhållanden, exempelvis vid injektering av torr jord, måste eventuellt beständighetsaspekten läggas åt sidan vid sammansättning av injekteringsbruket för att injektering överhuvudtaget ska vara möjlig. Vct kan behöva höjas till uppemot 2 - 3. I detta fall är det av yttersta betydelse att mikrocement används för att erhålla någon som helst separationsstabilitet och inträngningsförmåga.

I allmänhet kan sägas, att mikrocement bör kombineras med flytmedel om cementets goda inträngningsförmåga ska utnyttjas till fullo.

Förprovning i laboratorium är ett utmärkt sätt att ta fram ett injekteringsbruk med goda egenskaper, i största möjliga mån anpassade till förväntade förhållanden på arbetsplatsen. Detta förfarande bör dock kompletteras med en viss lyhördhet under arbetets gång. Om en brukssammansättning visar sig fungera dåligt ska erfarenheterna tas till vara för att möjliggöra en riktig anpassning av recepten. En god hjälp i ett sådant fall är att lära sig förstå de tryck-flödessamband man erhåller från "grout-recordern", detta kan dock inte helt ersätta ett visst mått av intuition.

BILAGA A TERMER OCH BETECKNINGAR

vct	Förhållandet mellan vatten och cementmängden i cementbruk eller betong. Om man blandar 60 liter (= 60 kg) vatten med 100 kg cement, får man ett bruk med vct 0.6.
% C	Betyder "dosering i procent av cementvikten" och räknas på massan om man ska dosera 3 % C tillsatsmedel i bruket ovan, innebär det att 3 kg skall tillsättas.
Cementpasta	Blandning av cement och vatten. Termen används både i färskt och hårdnat tillstånd.
Hydratisering	Även hydratation. När cement eller pozzolan reagerar med vatten och hårdnar.
Cementgel	Produkten av cementets hydratisering.
Stabilitet	Frånvaro av vattenseparation.
Dispergering	Bearbetning av t ex cementbruk så att klumpar och större partiklar slås isär.
Acceleration	Påskyndande av hydratisering.
Retardation	Fördröjande av hydratisering.
Skjuvning	Belastning vinkelrätt ett plan som ger nedanstående deformation:



Används i termer som "skjuvhastighet" och "skjuvhållfasthet".

Specifik yta

Specifik yta anges för att beskriva hur finkornigt ett material är. Specifik yta kan mätas med ett flertal metoder, men i samband med cement är "Blaine" och "BET" vanligast. Specifik yta benämns ofta efter den vid mätningen använda metoden, det är därför beteckningar som "Blaine-tal" och "BET-yta" kan förekomma, dessa två typer av mätvärden är inte direkt jämförbara, men det är alltid fråga om ett mått på specifik yta. Blaine-tal mäts genom att pressa luft genom torr, packad cement.

En kortfattad förklaring av specifik yta ges med hjälp av figur A.1.

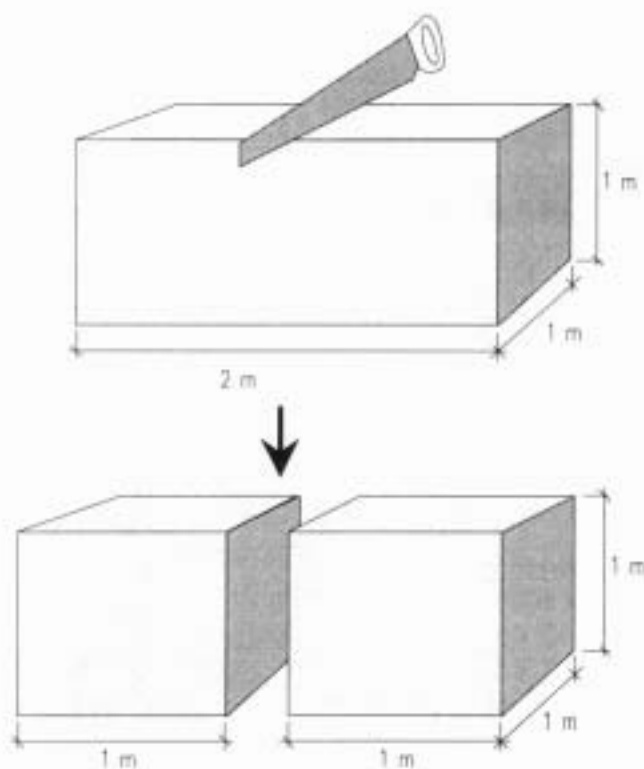


Fig. A.1. Förklaring till specifik yta.

Blocket i figuren har massan 100 kg. (tät frigolit) Före delningen har blocket en sammanlagd yta av:

$$1 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 2 + 1 \times 2 + 1 \times 2 = 10 \text{ m}^2$$

Blockets specifika yta blir då:

$$\frac{10 \text{ m}^2}{100 \text{ kg}} = 0.1 \text{ m}^2 / \text{kg}$$

Efter delningen har blocken fortfarande den sammanlagda massan 2 000 kg, men något har hänt med den totala ytan:

$$2 \times (1 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 1) = 2 \times 6 = 12 \text{ m}^2$$

Det har alltså tillkommit 2 kvadratmeter, detta är arean av ytorna på var sida av delningssnittet.

$$\frac{12 \text{ m}^2}{100 \text{ kg}} = 0.12 \text{ m}^2 / \text{kg}$$

Ju mer man delar en kropp på det här sättet, desto större specifik yta får den. Tumregeln är: ju mindre föremål, desto större specifik yta. Detta är också en del av förklaringen till varför små människor i allmänhet är mer "frusna" av sig, de har förhållandevis större yta som avger värme från kroppen till omgivningen.

För cement har detta konsekvensen att det är de mindre partiklarna som har störst inverkan på den specifika ytan.

För att ge ett perspektiv över hur stor ett cements specifika yta är kan nämnas att om ytorna hos varje cementkorn i ett normalt injekteringscement (specifik yta $600 \text{ m}^2/\text{kg}$) kunde vecklas ut och läggas på marken, skulle 10 kg täcka en fotbollsplan (ca $6\,000 \text{ m}^2$).

Specifik yta kan även uttryckas som yta per volym, dvs m^2/m^3 eller liknande. Samtidigt som alla tänkbara kombinationer av enheter förekommer t ex g/cm^3

Den specifika ytan av sfäriska partiklar med cements densitet (ca $3\,100 \text{ kg}/\text{m}^3$) redovisas i tabell A.2. Tilläggas bör, att cementpartiklar i verkligheten inte är sfäriska, dessutom är dess ytor skrovliga. Detta gör att specifika ytan är högre än den i tabell A.2 angivna vid varje given partikeldiameter.

Partikeldiameter [μm]	Specifik yta [m^2/kg]
100	20
10	200
5	400
3.33	600
2.5	800
1	2000
0.1	20000

Tabell A.2. Sfäriska cementpartiklars specifika yta.

För att visa de finaste partiklarnas stora inflytande över specifika ytan ges följande exempel:

Om ett cement består av viktmässigt lika delar partiklar av diametern $10 \mu\text{m}$ och partiklar av diametern $1 \mu\text{m}$ blir den totala specifika ytan, med värden ur tabell A.2, enligt följande:

$$200 \cdot 0.5 + 2000 \cdot 0.5 = 1100 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

BILAGA B ALLMÄNNA BEGREPP OCH BERÄKNINGAR

Enhetsprefix

Prefix betyder ett tecken som sätts framför en enhet för att multiplicera den med ett visst tal. Nedan följer några exempel på prefix och vad de betyder.

Mega (M):	1 000 000 gånger.	Ex: 1 MPa (Megapascal) = 1 000 000 Pa.
Kilo (k)	1 000 gånger.	Ex: 1 kg = 1 000 gram.
Deci (d)	1/10 gånger eller en tiondel.	Ex: 1 dm = en tiondels meter.
Centi (c)	1/100 gånger eller en hundraedel.	Ex: 1 cm = en hundraedels meter.
Milli (m)	1/1 000 (0.001) gånger eller en tusendel.	Ex: 1 mm = en tusendels meter.
Mikro (μ)	1/1 000 000 gånger eller en miljondel.	Ex: 1 μm = en miljondels meter.

Enheter.

Längd:	Meter (m)
Area (yta)	Kvadratmeter (m ²). Detta är samma sak som m · m, dvs meter gånger meter.
Volym.	Kubikmeter (m ³). Detta är samma sak som m · m · m.
Massa (vikt)	Gram (g)
Kraft	Newton (N)
Spänning	Pascal (Pa). Kraft per ytenhet. 1 Pa = 1 N/m ² , 1 MPa = 1 N/mm ² .

Beräkningar.

Upphöjt till (exponentiella tal).

Om ett tal skrivs på formen x^y (x upphöjt till y) kallas det ett exponentiellt tal, x benämns bas och y benämns exponent.

"Upphöjt till" används för att visa att något multipliceras med sig själv ett visst antal gånger, t ex:

$$2^2 = 2 \cdot 2 = 4$$

$$4^3 = 4 \cdot 4 \cdot 4 = 4 \cdot 16 = 64$$

Alltså, något upphöjt till tre betyder att detta multipliceras med sig själv tre gånger. Detta gäller även andra vägen, något som används för t ex enheter:

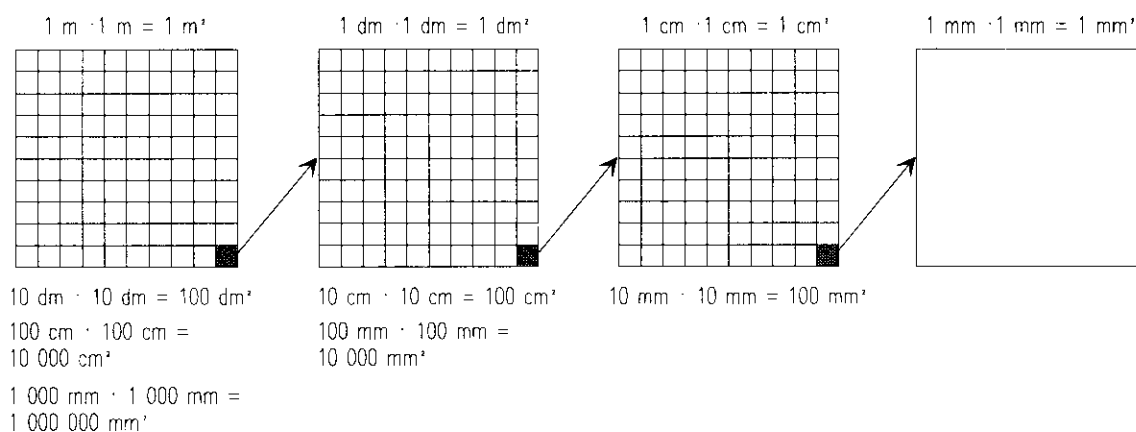
$$m \cdot m = m^2$$

$$cm \cdot cm \cdot cm = cm^2 \cdot cm = cm^3$$

"Upphöjt till två" kallas ofta "i kvadrat" och "upphöjt till tre" kallas "i kubik" t ex 4² kan uttalas "fyra i kvadrat".

Enhetsomvandling.

Enheter kan skrivas på olika sätt men ändå betyda ungefär samma sak, man använder olika för att man inte ska behöva skriva så mycket siffror. Det enklaste exemplet är att man kan skriva 1 km i stället för 1 000 m. Ett annat exempel är area, där man kan skriva 225 cm^2 i stället för $22\,500 \text{ mm}^2$. I bilden nedan syns principen för att omvandla area-enheter, i en kvadrat med sidorna 1 meter ryms 100 ($10 \cdot 10 = 10^2$) stycken kvadrater med sidorna 1 decimeter, i varje av dessa kvadrater ryms i sin tur 100 st kvadrater med sidorna 1 centimeter osv.



För att demonstrera hur en enhetsomvandling kan utföras används enheten MPa som betyder en miljon Pascal. Pascal i sin tur betyder Newton (kraft) per kvadratmeter (yta):

$$\begin{aligned}
 1 \text{ MPa} &= 1\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{1\,000\,000 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1\,000\,000 \text{ N}}{1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = \\
 &= \frac{1\,000\,000 \text{ N}}{1\,000 \text{ mm} \cdot 1\,000 \text{ mm}} = \frac{1\,000\,000 \text{ N}}{1\,000\,000 \text{ mm}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}
 \end{aligned}$$

En MPa är alltså samma sak som 1 N/mm^2

I de tabeller som följer visas omvandlingsfaktorer för några vanligt förekommande enheter. Även vissa enheter i det amerikanska enhetssystemet redovisas.

Kraft:

N	kp	lb
1	0.102	0.225
9.81	1	2.20
4.45	0.454	1

Tryck / spänning, tre värdesiffror:

MPa	bar	kp/cm²	mvp	psi	kPa
1	10	10.2	102	145	1000
0.1	1	1.02	10.2	14.5	100
0.0981	0.981	1	10	14.2	98.1
0.00981	0.0981	0.1	1	1.42	9.81
0.00689	0.0689	0.0703	0.703	1	6.89
0.001	0.01	0.0102	0.102	0.145	1

Tryck / spänning, ytterligare avrundat:

MPa	bar	kp/cm²	mvp	kPa
1	10	10	100	1000
0.1	1	1	10	100
0.1	1	1	10	100
0.01	0.1	0.1	1	10
0.001	0.01	0.01	0.1	1

Längd:

m	ft (fot)	dm	in (tum)	cm	mm	µm
1	3.28	10	39.4	100	1000	1000000
0.305	1	3.05	12	30.5	305	304800
0.1	0.328	1	3.94	10	100	100000
0.0254	0.0833	0.254	1	2.54	25.4	25400
0.01	0.0328	0.1	0.394	1	10	10000
0.001	0.00328	0.01	0.0394	0.1	1	1000
0.000001	0.00000328	0.00001	0.0000394	0.0001	0.001	1

Area:

m²	(fot²) sq.ft.	dm²	(tum²) sq.in	cm²	mm²
1	10.8	100	1550	10000	1000000
0.0929	1	9.29	144	929	92903
0.01	0.108	1	15.5	100	10000
0.000645	0.00694	0.0645	1	6.45	645
0.0001	0.00108	0.01	0.155	1	100
0.000001	0.0000108	0.0001	0.00155	0.01	1

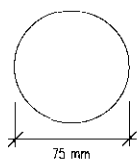
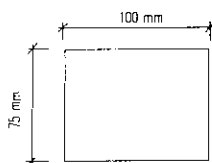
Volym:

m^3	(fot ³) cu.ft.	dm^3	(tum ³) cu.in	cm^3
1	35.3	1000	61024	1000000
0.0283	1	28.3	1728	28317
0.001	0.0353	1	61.0	1000
0.0000164	0.000579	0.0164	1	16.4
0.000001	0.0000353	0.001	0.0610	1

Specifik yta:

m^2/kg	cm^2/g
1	10
0.1	1

Area.



Arealen av rektangeln är längderna hos de båda sidorna multiplicerade med varandra, dvs:

$$A = 100 \text{ mm} \cdot 75 \text{ mm} = 7\,500 \text{ mm} \cdot \text{mm} = \mathbf{7\,500 \text{ mm}^2}$$

Observera att även enheterna multipliceras så att $\text{mm} \cdot \text{mm} = \text{mm}^2$, detta fungerar för vilken enhet som helst, om man beräknar arean på samma rektangel med sidlängderna angivna i decimeter, blir det så här:

$$A = 1 \text{ dm} \cdot 0.75 \text{ dm} = 0.75 \text{ dm} \cdot \text{dm} = \mathbf{0.75 \text{ dm}^2}$$

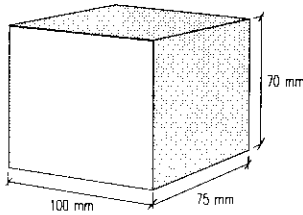
Arealen av cirkeln beräknas genom att ta diametern upphöjt till två, multiplicera detta med π (3.14) och dividera allt med fyra. Vet man radien (halva diametern) är det ännu enklare, då tas radien upphöjt till två och resultatet multipliceras med π . Arealen av cirkeln här intill är:

$$A = 75^2 \cdot \pi / 4 = 75 \text{ mm} \cdot 75 \text{ mm} \cdot 3.14 / 4 = \mathbf{4\,415.625 \text{ mm}^2}$$

eller:

$$A = 37.5^2 \cdot \pi = 37.5 \text{ mm} \cdot 37.5 \text{ mm} \cdot 3.14 = \mathbf{4\,415.625 \text{ mm}^2}$$

Volym.



Volymen av rätblocket är längderna hos de tre sidorna multiplicerade med varandra, dvs:

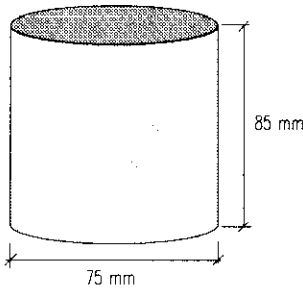
$$V = 100 \text{ mm} \cdot 75 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm} = \mathbf{525\,000 \text{ mm}^3}$$

Som synes är bottenytan i rätblocket lika som ytan i exemplet ovan, om man redan har arean för bottenytan beräknad eller mätt, kan man beräkna volymen genom att ta den arean gånger höjden:

$$V = A \cdot h = 7\,500 \text{ mm}^2 \cdot 70 \text{ mm} = \mathbf{525\,000 \text{ mm}^3}$$

Vet man att volymen är lika med arean gånger höjden, är det enkelt att beräkna volymen av cylindern med hjälp av areaberäkningen för cirkeln ovan, cylinderns bottenyta är ju samma som för cirkeln:

$$V = A \cdot h = 4\,415.625 \text{ mm}^2 \cdot 85 \text{ mm} = \mathbf{375\,328.125 \text{ mm}^3}$$



Last eller kraft.

Kraft förväxlas ofta med massa. Man anger ofta felaktigt en kraft i ton eller kg. Det finns dock ett samband mellan massa och kraft. Ett föremål på jorden med en viss massa påverkar markytan med en viss kraft. För att beräkna den kraften används den s.k.

gravitationskonstanten som betecknas "g". Denna konstant har värdet 9.81 men ofta avrundas den till 10. För att få kraften mot markytan multipliceras massan med g, om man betecknar kraften med "F" och massan med "m", ser det ut så här:

$$F = m \cdot g = m \cdot 9.81$$

En lastbil med massan 10 ton = 10 000 kg påverkar jorden med kraften $10\,000 \cdot 9.81 \text{ N} = 98\,100 \text{ N} = 98.1 \text{ kN}$.

Spänning och tryck.

Spänning är detsamma som kraft per ytenhet, även tryck i bildäck o.dyl. anges på samma sätt. Hållfasthet är den maximala spänning ett material tål innan det går sönder. Detta anges för att man skall kunna beräkna vilken kraft, eller last, en konstruktion kan tåla oavsett hur stor area den har. I formeln nedan betecknas spänning (eller tryck) med "f", kraften med "F" och arean med "A".

$$f = \frac{F}{A}$$

Vid provtryckning av betongkuber delas alltså den maximala last som kuben tål med arean för kubens yta mot kraftens riktning.

För att beräkna hållfastheten för en betongkub med arean 223.5 cm² som tål 940 kN (kilonewton) belastning kan ovanstående formel användas tillsammans med kunskaper om vad prefixen betyder och enhetsomvandling.

$$f = \frac{F}{A} = \frac{940 \text{ kN}}{223.5 \text{ cm}^2} = \frac{940 \cdot 1000 \text{ N}}{223.5 \cdot 100 \text{ mm}^2} = \frac{940000 \text{ N}}{22350 \text{ mm}^2} = 42.06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 42.06 \text{ MPa}$$

Omvandla alltså först enheterna till sådana som passar, i detta fall omvandlas kN till N genom att multiplicera lasten med 1000, cm² omvandlas till mm² genom att multiplicera arean med 100. Genom detta delas Newton med kvadratmillimeter och man får Newton per kvadratmillimeter (N/mm²) vilket är detsamma som Megapascal (MPa).

För att ge ett exempel på vad detta hållfasthetsvärde kan användas till beräknas dimensionerna på en pelare gjuten av samma betong som skall bära lastbilen i exemplet under kapitlet "Kraft eller last". Formeln ovan stuvats om för att kunna göra det:

$$f = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{f} = \frac{98100 \text{ N}}{42.06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = \frac{98100 \text{ N}}{42.06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = \frac{98100}{42.06} \text{ mm}^2 = 2332.4 \text{ mm}^2$$

En pelare med kvadratisk tvärsnitt och sidorna 48.3 mm har den area som krävs, dvs man kan ställa en lastbil på en 50 mm K40 betongkub utan att den går sönder. Hur det i praktiken går till att balansera lastbilen på den lilla betongkuben är en annan fråga.

Densitet.

Densitet betyder täthet och anger hur mycket ett material väger per volymenhet och kan anges i t ex kg/m³, ton/m³ och g/cm³ (de två sista får samma värden). För att beräkna densiteten divideras vikten med volymen. Som exempel ges en densitetsberäkning på en 150 mm betongkub mätt med areamätare. Vikt 8.120 kg, area 225.5 cm² och höjd 149 mm.

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m}{V} = \frac{m}{A \cdot h} = \frac{8.12 \text{ kg}}{225.5 \text{ cm}^2 \cdot 149 \text{ mm}} = \frac{8.12 \text{ kg}}{\frac{225.5}{10000} \text{ m}^2 \cdot \frac{149}{1000} \text{ m}} = \\ &= \frac{8.12 \text{ kg}}{0.02255 \text{ m} \cdot 0.149 \text{ m}^2} = \frac{8.12 \text{ kg}}{0.00336 \text{ m}^3} = 2417 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Om man vet densiteten kan man lätt beräkna hur mycket t ex 180 liter betong väger, 180 liter är detsamma som 0.18 m³:

$$m = \rho \cdot V = 2417 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.18 \text{ m}^3 = 435 \text{ kg}$$

BILAGA C RECEPTBERÄKNING

Ett injekteringsbruks innehåll anges vanligen enligt följande:

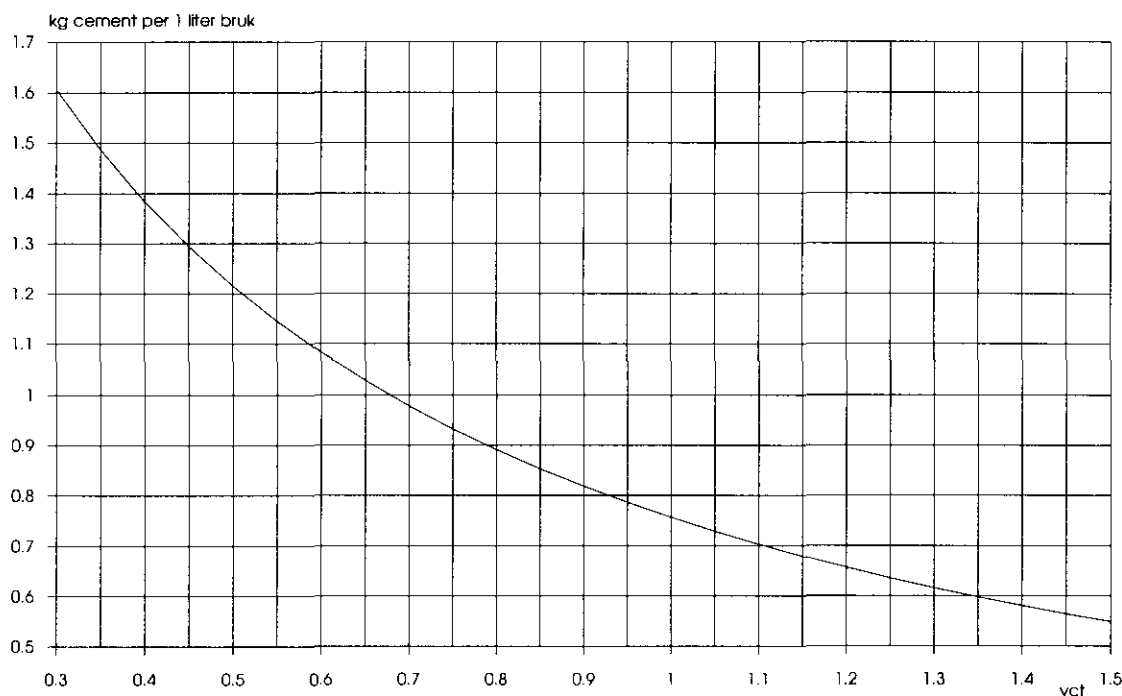
- Injekteringscement.
- vct 0.6
- 3 % C Cementa V33. (Flytmedel)

Denna beskrivning går inte att blanda efter, utan man måste ta fram hur stora mängder av varje komponent som skall vägas eller mätas upp. I detta exempel beräknas allt i kg.

När man bestämmer satsstorlek är det ofta blandarens kapacitet som är bestämmande, men i vissa fall går man under denna kapacitet t ex på grund av liten bruksåtgång. Satsstorleken är dock det enda man behöver bestämma sig för förutom receptet.

I detta exempel förutsätts 150 l satsstorlek.

I diagrammet nedan anges hur många kg cement som behövs för varje liter bruk vid ett visst vct. För att ta reda på denna siffra för exempelreceptet dras en lodrät linje upp från vct 0.6 på den vågräta axeln till den träffar kurvan. Från skärningspunkten mellan den lodräta linjen och kurvan, dras en vågrät linje till den träffar den lodräta axeln. Det värde som står där är det värde vi söker.



I detta fall får vi värdet 1.08 kg cement per liter bruk.

För att få cementmängden för en 150 l sats multipliceras detta värde med 150:

$$1.08 \cdot 150 = 162 \text{ kg}$$

Vi ska alltså väga upp 162 kg cement för vår 150 l sats.

Nästa steg är att bestämma vattenmängden, denna får vi genom att multiplicera cementmängden med vct:

$$162 \cdot 0.6 = 97.2 \text{ kg}$$

Här får vi en *oreducerad* vattenmängd på 97.2 kg, denna kommer att reduceras med avseende på flytmedlets vatteninnehåll.

Tillsatsmedlet återstår att beräkna, det gör man genom att ta 3 % av cementmängden:

$$\frac{3 \cdot 162}{100} = 4.86$$

Detta ger att 4.86 kg flytmedel skall vägas upp. Detta är inte detsamma som 4.86 liter, då flytmedlets densitet är större än 1 kg / liter.

Tillsatsmedel innehåller oftast en större mängd vatten, Cementa V33 har en torrhalt på 33 %. Det är den "torra" delen som är den verksamma, det övriga är vatten. Detta innebär att V33 innehåller 67 % vatten som måste tas med i beräkningen för att få ett korrekt vct. Detta görs genom att reducera den tidigare uträknade oreducerade vattenmängden med flytmedlets vatteninnehåll. Vatteninnehållet beräknas genom att ta 67 % av den beräknade tillsatsmedelmängden:

$$\frac{67 \cdot 4.86}{100} = 3.26$$

Den reducerade vattenmängden reduceras med flytmedlets vatteninnehåll:

$$97.2 - 3.26 = 93.9 \text{ kg}$$

Den vattenmängd som skall vägas / mätas upp är alltså 93.9 kg

Vårt recept ser slutligen ut så här

93.9 kg vatten.
162 kg injekteringscement.
4.86 kg V33

Proceduren för vattenreduktion upprepas för varje tillsatsmedel som tillsätts om det är fler än ett, med hänsyn till aktuella torrhalter för varje tillsatsmedel. Torrhalten finns angiven i produktbladet.

Följande två sidor innehåller två likadana blanketter för receptberäkning. Dessa är anpassade för cement levererad på lös vikt / bulk. Om säckad cement används, behöver inte ruta B fyllas i, cementvikten förs in direkt i ruta D. För övrigt förfar man på samma sätt. De olika rutorna behandlas i bokstavsordning.

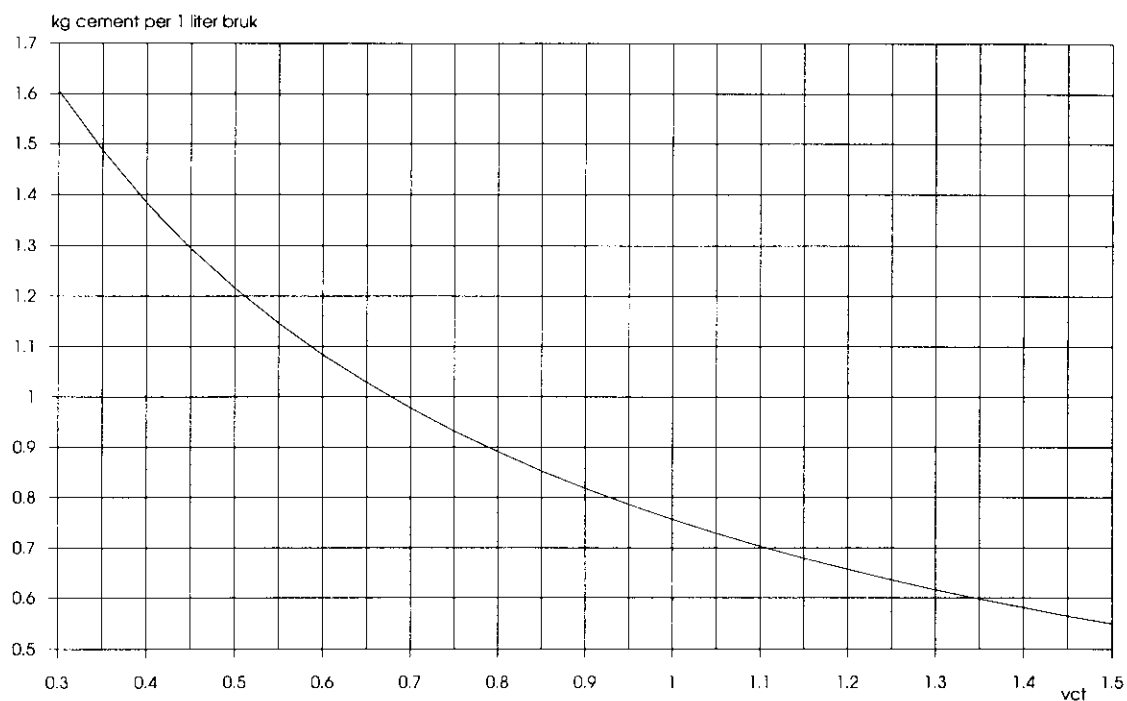
Om cementet levereras per säck bör ett antal säckar kontrollvägas med jämna mellanrum för att erhålla en korrekt vikt på cementet. Den faktiska vikten avviker ofta från angiven säckvikt.

Receptberäkningsblankett



A. vct					
B. Cementmängd per liter i diagram					
C. Satsstorlek, liter					
D. Cementmängd, kg (B · C)					
E. Oreducerat vatten ,kg (A · D)					
	F. Dosering, % C	G. Torrhalt, %	H. Vattenhalt, % (100 - G)	I. Mängd att tillsätta, kg $\left(\frac{D \cdot F}{100}\right)$	J. Vattenmängd, kg $\left(\frac{I \cdot H}{100}\right)$
Tillsatsmedel					
1.					
2.					
3.					
Reducerat vatten, kg (E - J.1 - J.2 -J.3)					

Receptberäkningsblankett

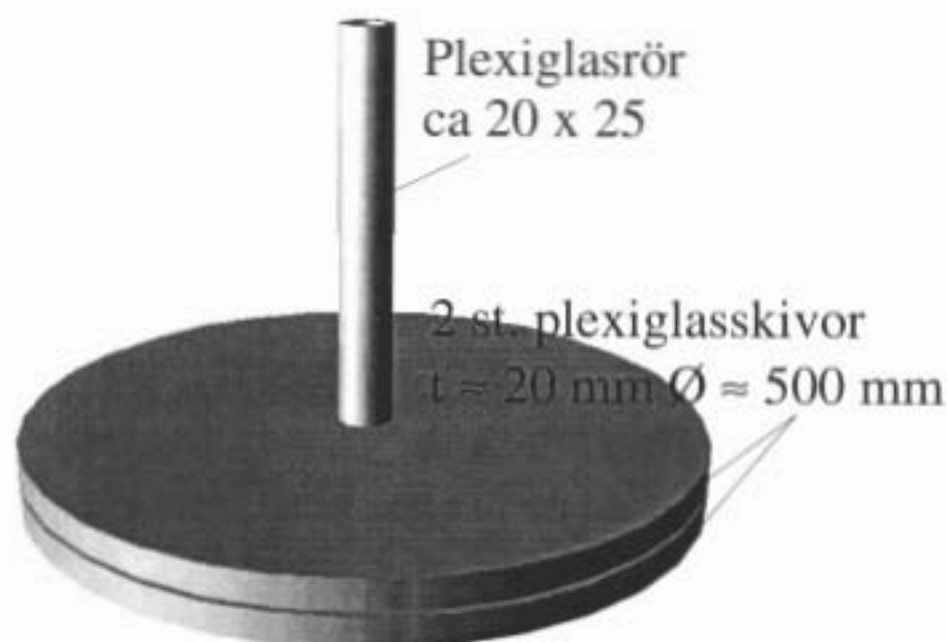


A. vct					
B. Cementmängd per liter i diagram					
C. Satsstorlek, liter					
D. Cementmängd, kg (B · C)					
E. Oreducerat vatten ,kg (A · D)					
	F. Dosering, % C	G. Torrhalt, %	H. Vattenhalt, % (100 - G)	I. Mängd att tillsätta, kg $\left(\frac{D \cdot F}{100}\right)$	J. Vattenmängd, kg $\left(\frac{I \cdot H}{100}\right)$
Tillsatsmedel					
1.					
2.					
3.					
Reducerat vatten, kg (E - J.1 - J.2 -J.3)					

BILAGA D LABORATIONER

Material.

Injekteringscement.
Mikrocement.
Vatten.
Flytmedel.
Natriumaluminat.
Våg.
Tidtagarur.
Mätglas.
Måttbägare.
Plastmuggar.
Pipetter.
Objektglas.
Propellerblandare.
Dispergeringsapparat. (Ultra-Turrax)
Plastfolie.
Pakettejp
Plexiglasmodell enligt fig D.1.



Plexiglasskivorna hålls isär med 0.1 mm
tolkstål och fixeras med tvingar

Figur D.1. Plexiglasmodell för sprickinjektering.

Laboration 1a Dispergering och stabilitet.

1. Blanda en sats bruk vct 1.0 baserat på mikrocement genom att satsa cementen i vattnet i propellerblandaren. Satsstorlek ca 1 liter.
2. Häll upp ungefär hälften av bruket i en annan bägare.
3. Dispergera bruket i ena bägaren i Ultra-Turrax under 2 minuter. Sätt bruket i andra bägaren under omrörning i propellerblandaren.
4. Häll upp bruket från de båda bägarna i varsitt mätglas för mätning av vattenseparation enligt SS 13 75 31.
5. Mät vattenseparation efter ½, 1 och 2 timmar, för in resultat i protokoll.

Propellerblandare

Tid efter blandning [tim]	Höjd bruk [mm]	Höjd vatten [mm]	Vattenseparation [%]
0			
½			
1			
2			

Dispergeringsapparat

Tid efter blandning [tim]	Höjd bruk [mm]	Höjd vatten [mm]	Vattenseparation [%]
0			
½			
1			
2			

Laboration 2a. vct och vattenseparation.

Blanda tre satser bruk med injekteringscement och vct 0.6, 1.0 respektive 2.0. Satsstorlek 2 liter. Upprepa följande för varje sats:

1. Satsa cementen i vattnet i propellerblandaren.
2. Dispergera i Ultra-Turrax under 2 minuter.
3. Håll upp bruk i ett måtglas för mätning av vattenseparation enligt SS 13 75 31. (Spara överblivet bruk till laboration 2b.) Droppa två droppar bruk på ett objektglas och sätt försiktigt ytterligare ett objektglas ovanpå.
4. Mät vattenseparation efter ½, 1 och 2 timmar, för in resultat i protokoll. Kontrollera objektglasen med jämna mellanrum

vct = 0.6

Tid efter blandning [tim]	Höjd bruk [mm]	Höjd vatten [mm]	Vattenseparation [%]
0			
½			
1			
2			

vct = 1.0

Tid efter blandning [tim]	Höjd bruk [mm]	Höjd vatten [mm]	Vattenseparation [%]
0			
½			
1			
2			

vct = 2.0

Tid efter blandning [tim]	Höjd bruk [mm]	Höjd vatten [mm]	Vattenseparation [%]
0			
½			
1			
2			

Laboration 2b. vct och konsistens.

Använd det överblivna bruket från laboration 2a, gör Marsh-prov och prov i stigrör. Resultatet från mätning i stigrör räknas om till flytgräns enligt nedanstående formel ur [4].

$$\tau_0 = \frac{\rho \cdot g \cdot R}{2} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_1 - \Delta h} \right)$$

Där :

τ_0 = Flytgränsen

ρ = Densiteten

g = Gravitationskonstanten (= 9.81)

R = Rörets inre radie

Δh = Skillnaden i höjd utanför och innanför röret

h_1 = Rörets nedsticksdjup

För in resultaten i protokoll nedan.

vct	Marshtid [s]	Höjd utanför [mm]	Höjd innanför [mm]	Flytgräns [Pa]
0.6				
1.0				
2.0				

Laboration 3a. Cementets finmalning och vattenseparation.

Blanda två satsar bruk med injekteringscement respektive mikrocement vct 1.0 Satsstorlek 2 liter. Upprepa följande för varje sats:

1. Satsa cementen i vattnet i propellerblandaren.
2. Dispergera i Ultra-Turrax under 2 minuter.
3. Häll upp bruk i ett mätglas för mätning av vattenseparation enligt SS 13 75 31. (Spara överblivet bruk till laboration 3b.) Droppa två droppar bruk på ett objektglas och sätt försiktigt ytterligare ett objektglas ovanpå.
4. Mät vattenseparation efter ½, 1 och 2 timmar, för in resultat i protokoll. Kontrollera objektglasen med jämna mellanrum

Injekteringscement

Tid efter blandning [tim]	Höjd bruk [mm]	Höjd vatten [mm]	Vattenseparation [%]
0			
½			
1			
2			

Mikrocement

Tid efter blandning [tim]	Höjd bruk [mm]	Höjd vatten [mm]	Vattenseparation [%]
0			
½			
1			
2			

Laboration 3b. Cementets finmalning och konsistens.

Använd det överblivna bruket från laboration 3a, gör Marsh-prov och prov i stigrör. För in resultaten i protokoll nedan.

	Marshtid [s]	Höjd utanför [mm]	Höjd innanför [mm]	Flytgräns [Pa]
Inj. cem.				
Mikroc.				

Laboration 4. Överdoserings av accelerator.

Gör i ordning mikrocement, vatten och accelerator (**2.5 % C Natriumhydroxid**) till en sats om 1 liter, vct 0.8. Använd endast propellerblandaren. Använd endast paddelblandaren. Lös upp acceleratoren helt i vattnet, satsa därefter cementen.

Vad händer ?

Gör i ordning injekteringscement, vatten och accelerator (**3.5 % C Natriumhydroxid**) till en sats om 1 liter, vct 0.8. Lös upp acceleratoren helt i vattnet, satsa därefter cementen.

Vad händer ?

Om ingenting händer, eller om det händer för snabbt, justera doseringarna och försök igen !

Laboration 5. Flytmedel och konsistens.

Blanda 2 liter bruk på injekteringscement, vct 0.6, håll över en liten mängd (ca. 1 dl) i en mugg. Ta marshmått. Sätt resterande bruk under omröring och tillsätt ca 20 ml flytmedel.

Vad händer ?

Håll även över en liten mängd bruk innehållande flytmedel på en mugg samt ta marshmått jämför bruk utan och med flytmedel.

Utan flytmedel		Med flytmedel	
Marshtid:	sekunder	Marshtid:	sekunder
Observationer:		Observationer:	

Laboration 6. Sprickinjektering.

Blanda en sats om 2 liter på injekteringscement, vct 0.6, med 3 % C melaminflytmedel. Förfar enligt tidigare med satning i paddelblandare och påföljande dispergering under 2 min. i Ultra-Turrax. Häll bruket i plexiglasmodellen enligt fig. D.1, fyll på om det behövs, anteckna vad som händer.

Vad händer ?

Rengör utrustningen och upprepa ovanstående, men blanda bruk med vct 0.5 utan flytmedel.

Vad händer ?

BILAGA E LITTERATUR

Referenser

- [1] A.C. Houlsby. Construction and Design of Cement Grouting. Wiley Interscience. ISBN 0-471-51629-5
- [2] Anvisningar för utförande av cementinjektering i berg. Statens Vattenfallsverk 1968.
- [3] Vattenfalls Betonghandbok - Anvisningar för utförande och kontroll av betongarbeten. Stockholm 1972. ISBN 91-7186-003-7.
- [4] Ulf Håkansson. Rheology of Fresh Cement-Based Grouts. Doktorsavhandling, KTH.

Övrig litteratur

Allen, S.C. Edwards, J.D.N. Shaw (ed.). The Repair of Concrete Structures. Blackie Academic & Professional. ISBN 0-7514-0086-6.

Betonghandbok, Reparation. Svensk Byggtjänst. ISBN 91-7332-327-6.

Betonghandbok, Arbetsutförande. Svensk Byggtjänst. ISBN 91-7332-586-4.

BST handbok 12. Betongprovning med svensk standard. Utgåva 6, november 1991. Byggstandardiseringen / SIS. ISBN 91-7162-325-6. ISSN 0347-9501.

Vattenfall Utveckling AB:s metodbeskrivningar. VU-SC:27, Filtreringsstabilitet hos injekteringsbruk.

Anteckningar.

[illegible]

Anteckningar.

[illegible]

Anteckningar.

[illegible]

Anteckningar.

[illegible]

Anteckningar.

[illegible]

ELFORSK

ELFORSK - SWEDISH ELECTRICAL UTILITIES R & D COMPANY

Elforsk AB, S-101 53 Stockholm. Visiting address: Olaf Palmes Gata 31
Tel: +46 8 677 25 30, Fax: +46 8 677 25 35, e-mail: info@elforsk.se