



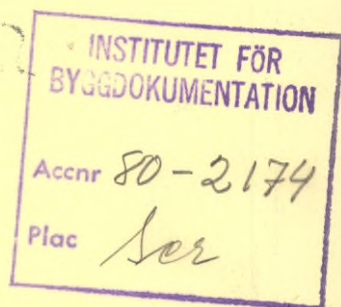
Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Provning av injekteringsmedel för fintätning av berg

Leif Andréasson m.fl.



R
ADR

R121:1980

PROVNING AV INJEKTERINGSMEDEL
FÖR FINTÄTNING AV BERG

Leif Andréasson
Claes Alberts
Tore Andersson
Kjell Lindman
Lars Lundström
Pehr Söderman

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
740107-9 från Statens råd för byggnadsforskning
till Stabilator AB, Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R121:1980

ISBN 91-540-3333-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 057570

INNEHÅLL

	FÖRORD	5
1	INTRODUKTION	7
1.1	Allmänt om tätning av tunnlar och bergrum . . .	8
1.1.1	Behov av tunneltätning	8
1.1.2	Kort om tunneltätningsteknik	12
1.1.3	Injekteringsmedel	14
1.1.4	Behov av provningsmetoder	16
2	VÄSENTLIGA EGENSKAPER HOS INJEKTERINGSMEDEL . .	17
2.1	Inträngningsegenskaper	17
2.1.1	Inträngningsförmåga	17
2.1.2	Viskositet	19
2.1.3	Ytspänning	21
2.2	Gelnings- och härdningsegenskaper	21
2.2.1	Påverkan genom utspädning	22
2.2.2	Temperaturberoende	23
2.2.3	Påverkan av föroreningar	23
2.2.4	Påverkan på grund av syneres	24
2.2.5	Påverkan på grund av mikrogel	24
2.3	Mekaniska egenskaper	24
2.3.1	Hållfasthetsegenskaper	24
2.3.2	Vidhäftning	25
2.4	Beständighet	26
2.4.1	Uttorkning, kondensation eller syneres	26
2.4.2	Urlakning	26
2.4.3	Krypning eller krossning	27
2.4.4	Andra tänkbara orsaker till nedbrytning	27
2.5	Miljöeffekter, Arbetarskydd-Miljöskydd	27
2.6	Speciella krav på injekteringsutrustningar m.m..	30
3	PROVNINGSMETODER	33
3.1	Inträngning	33
3.1.1	Inträngningsförmåga-Sandpelarförsök	35
3.1.2	Viskositet	37
3.1.3	Ytspänning	37
3.2	Gelning och härdning	38
3.2.1	Viskositetsbestämning, dynamisk	40
3.2.2	Viskositetsbestämning, kinematisk	44
3.2.3	Bestämning av gelstyrketillväxt	46

INNEHÅLL (forts.)

3.2.4	Krympning	50
3.2.5	Sur- och basisk miljö - grundvatten	51
3.3	Mekaniska egenskaper	52
3.3.1	Tryckförsök	53
3.3.2	Krypförsök	55
3.3.3	Vidhäftning	57
3.4	Beständighet	60
3.5	Miljöeffekter. Arbetarskydd - miljöskydd	62
3.6	Speciella krav på injekteringsutrustningar . . .	62
4.	BESKRIVNING AV OLIKA INJEKTERINGSMEDEL	63
4.1	Beskrivning av injekteringsmedel ur kemisk syn- vinkel.	63
4.2	Allmänna egenskaper hos några förekommande injekteringsmedel	63

FÖRORD

I BFR's rapport R45:1970 redovisas resultaten från försök för att undersöka olika injekteringsmedels framträngningsegenskaper i sand och smala spalter. Det är framför allt skillnaden mellan injektering med partiklar resp. lösningar som belyses och analyseras. Som en fortsättning av forskningen kring problemet tätning mot små vattenläckage, utfördes under 1973 praktiska provinjekteringar i en tunnel. Resultaten redovisas i BFR's rapport R25:1975. Dessa prov visar att man med ett riktigt förfarande kan få "tätt berg" tätare.

I december 1973 redovisades preliminära resultat från dessa provinjekteringar för BFR's programgrupp för geohydrologisk forskning. I samband härmed föreslogs en fortsatt forskning som i första hand skulle bedrivas av Hagconsult och Stabilator. Som ett första steg beslöts att egenskapsredovisning av och provningsmetoder för injekteringsmedel för fintätning av berg skulle studeras.

Den nybildade tunneltätninggruppen bestående av dir. Claes Alberts, Stabilator, dir. Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult och dir. Bertil Sandell, BESAB upprättade tillsammans ett program för studien och 1974 erhöles av Statens Råd för Byggnadsforskning ett anslag på 90.000:- kronor med Stabilator som sökande.

För samordning och redigering utsågs tekn. dr Leif Andreasson, Statens Geotekniska Institut. Arbetet har bedrivits i en arbetsgrupp med en representant för vardera företaget. De olika kapitlen har utarbetats individuellt och de framlagda textförslagen har sedan diskuterats inom arbetsgruppen. Den slutliga redigeringen har sedan gjorts av civilingenjör Lars Lundström, Hagconsult.

Tanken var från början att inrikta sig på provningsmetoder för sådana egenskaper hos injekteringsmedel som är väsentliga vid injektering. Under arbetets gång ansågs det emellertid önskvärt att kunna göra bredare jämförelser mellan olika material, t.ex. med cement. Samtidigt visade det sig svårt att avgränsa de egenskaper

som är väsentliga. Därför har studien blivit mer omfattande och kommit att omfatta en mer allmän egenskapsredovisning och metoder för materialprovning.

Beträffande miljö- och arbetarskyddsfrågor har dessa varit svåra att få ett grepp om bl.a. genom att föreskrifter etc. ej funnits utarbetade.

En målsättning har visserligen varit att i möjligaste mån utnyttja redan existerande förfarande men i vissa fall har nya provningsmetoder utarbetats där sådana saknas. Arbetet har bl.a. på grund av ovan nämnda blivit betydligt mer omfattande och tidsödande än vad som förutsågs från början.

Föreliggande rapport utgör ett förslag till provningsmetoder för injekteringsmedel. Visserligen har vissa smärre provningar utförts efter de redovisade metoderna men innan dessa kan föreslås som norm är det nödvändigt att först genomföra en fullständig provserie på några vanliga typer av injekteringsmedel.

När nu denna rapport är färdigställd vill vi framföra ett tack till dem som aktivt bidragit i detta projekt och då särskilt tekn. dr Carl-Olof Morfeldt och dir. Bertil Sandell som ställt upp med värdefulla råd och synpunkter samt tekn. dr Sten G.A. Bergman som tidigare medverkat och vars samordningsuppdrag för detta senare projektskede övertogs av Leif Andréasson.

1 INTRODUCTION

Detta forskningsprojekt har genomförts för att få fram provningsmetoder som möjliggör saklig värdering av olika injekteringsmedels användbarhet för tätning av bergrum och tunnlar mot små läckage. I rapporten framlagda förslag bör kunna läggas till grund för utarbetande av standardiserade provningsmetoder.

I tidigare projekt, rapport BFR R45:1970 och R25:1975, visades att det finns möjligheter att täta finsprickigt berg även mot små läckage och att vissa egenskaper hos ett injekteringsmedel är särskilt väsentliga för tätningseffekten.

De injekteringsmedel som blir aktuella för tätning mot små vattenläckage utgörs av vätskor (lösningar), hårdnande eller icke hårdnande, vilka med ett något oegentligt namn kallas för "kemiska injekteringsmedel". Det är för denna grupp av ämnen som provningsmetoder föreslås, dels för att deras allmänna egenskaper skall redovisas på likartat sätt, dels för att egenskaper som är väsentliga vid medlens användning för injektering skall visas. Härigenom blir det även möjligt att jämföra olika injekteringsmedels för- och nackdelar. Dessutom lämnas förslag till provserier som bör genomföras för "varudeklaration" av ett injekteringsmedel.

Som nämnts ovan behandlar denna rapport bergrum och tunnlar, men de provningsmetoder etc. som föreslås kan givetvis även tillämpas för andra objekt såsom dammar, täta bergbottnar etc.

1.1 Allmänt om tätning av tunnlar och bergrum

1.1.1 Behov av tunneltätning

Tätning av tunnlar och bergrum för att reducera inläckande vattenmängder har utförts sedan lång tid tillbaka. Från början hade man emellertid inte så stora krav på tätheten. Man reducerade de inströmmande vattenmängderna bara så mycket att pumparna orkade med att pumpa ut tillflödet och att det inte var alltför odrägligt att arbeta i tunneln.

När man sedan började bygga reningsverk och leda spillvattnet i bergtunnlar tillkom ytterligare en synpunkt: man ville inte ha för stora flöden till reningsverken och var därför mån om att inte blanda upp spillvattnet med rent grundvatten. Denna synpunkt har emellertid inte medfört att man ansträngt sig över hövan för att bygga täta tunnlar. Man väger nämligen ofta kostnaden för att rena en kubikmeter spillvatten mot kostnaden för att utestänga en kubikmeter genom tunneltätning. Sådana jämförelser visar i de allra flesta fall att man kan tillåta tämligen stora inläckande vattenmängder.

Det var först i mitten och slutet av 60-talet - i samband med några stora skadefall - som orsakssambandet grundvatteninläckning - sättningar blev allmänt känt bland byggnadsteknikerna. Detta orsakssamband skall här kortfattat redovisas.

I våra tätorter byggs idag en mängd tunnlar för olika ändamål: råvattenförsörjning, spillvattenavledning, el- och teleledningar, tunnelbanor etc. I områden med lös, sättningsbenägen jord kan en inläckning av grundvatten till dessa tunnlar medföra ytterst besvärande konsekvenser, se FIG. 1.1.1.1a och b.

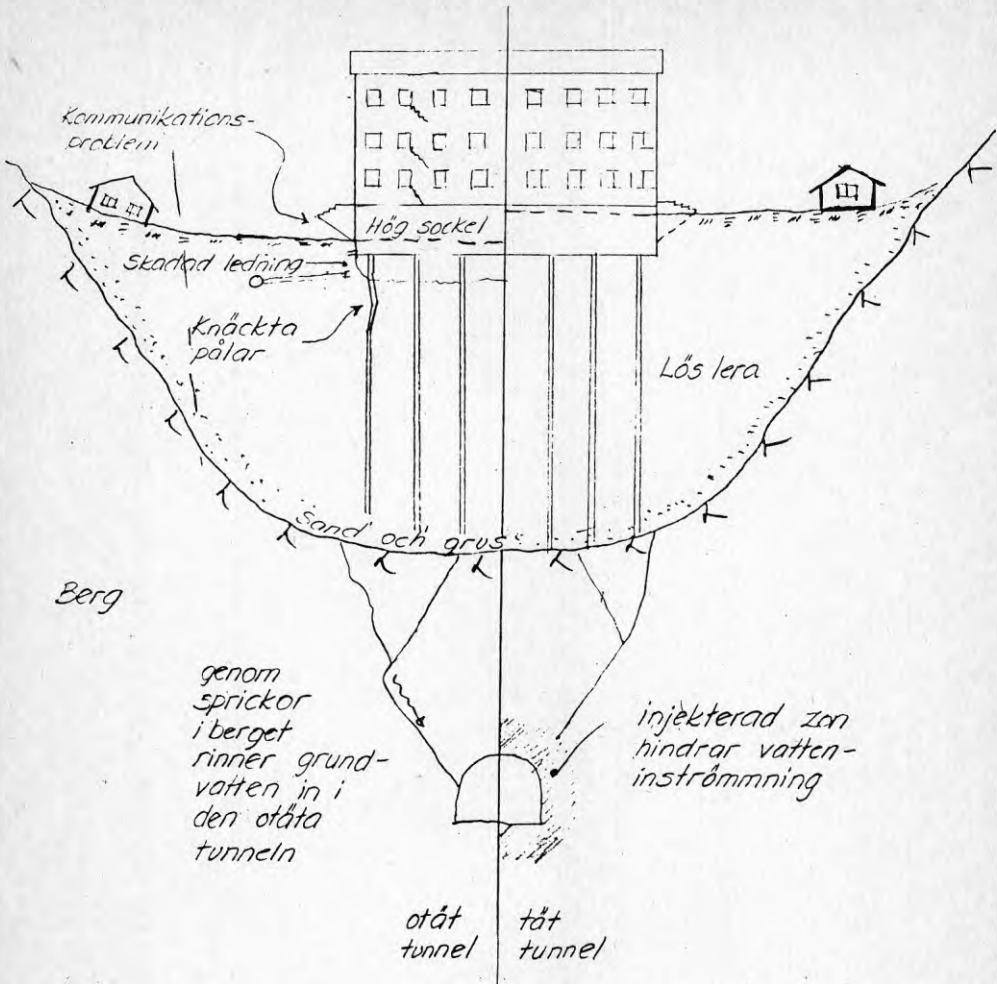


FIG. 1.1.1.1

a. En läckande tunnel medför en kraftig avsänkning av grundvattennivån. Detta medför i sin tur kraftiga sättningar i kompressibla jordar. Sättningarna medför skador på både äldre och nyare bebyggelse och medför även stora svårigheter vid exploatering av nya områden. Grundvattensänkning kan även innebära att träpålar ruttnar.

b. Den bästa metoden att undvika skador till följd av grundvatteninläckning i tunnlar är att bygga täta tunnlar. Då undviker man de rubbningar i vattenbalansen som leder till grundvattensänkning och sättningar.

För att ge en klar bild av vad som sker redovisas nedan orsaks-sambanden steg för steg.

- Under naturliga förhållanden ligger grundvattennivån i lerfyllda dalar tämligen högt, i närheten av markytan. I gruset under leran är ofta vattentrycket t.o.m. artesiskt, dvs. det motsvarar en stignivå över markytan. Vattentrycket upprätthålls genom en långsam infiltration av ytvatten i dalens randområden. I de vattengenomträngliga sandlagren under leran och i sprickor i berget strömmar grundvattnet sakta till angränsande områden med lägre trycknivå. Grundvattennivån varierar med årstiderna, men variationerna är måttliga.

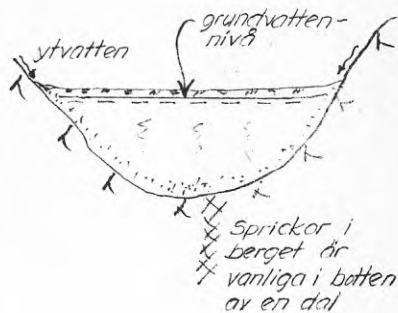


FIG. 1.1.1.2

- När en tunnel sprängs i berget och vatten läcker in i tunneln sjunker på mycket kort tid vattentrycket i sand- och gruslagren. Tillrinningen av ytvatten eller grundvattenströmningen från angränsande områden går så långsamt att den inte hinner med att ersätta det vatten som läcker in i tunneln. Man behöver ta ut endast en mycket obetydlig mängd vatten för att sänka vattentrycket i sandlagren, nämligen den ringa vattenmängd som motsvarar sandens kompression i samband med ökningen av effektivtrycket (eller minskningen av vattentrycket, vilket är samma sak). På kort tid händer inte mer, bortsett från att brunnar i jord och berg börjar sina. Leran är nämligen så tät att vattenavgången från den uppvisar stark tidsfördröjning.

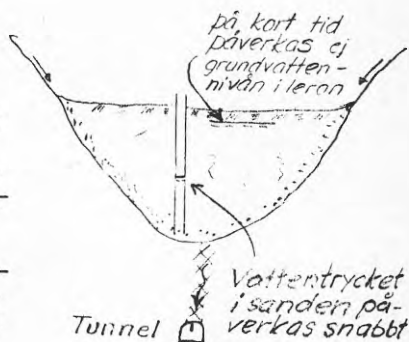


FIG. 1.1.1.3

● När vattentrycket i sanden under leran sjunker, så börjar vatten också strömma ur leran. Man kan uttrycka det på annat sätt: när vattentrycket i leran sjunker, så ökar effektivtrycket och lerans kornskelett komprimeras. Man kan jämföra med vidstående reologiska modell. I modellen motsvarar fjädrarna lerans kornskelett. Lasten bärs av fjädrarna och vattentrycket.

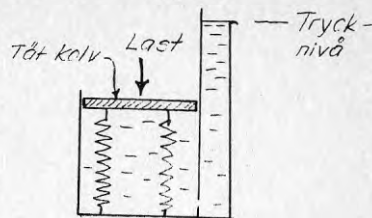


FIG. 1.1.1.4a

Sänker man vattentrycket överförs en större del av lasten till fjädrarna samtidigt som dessa komprimeras. Förloppet tar emellertid tid genom att de hål vattnet skall tränga genom är så små - leran har låg vattengenomtränglighet.

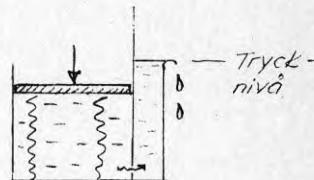


FIG. 1.1.1.4b

● Leran kan emellertid tåla en viss sänkning av grundvattennivån utan att några stora sättningar uppkommer. Också under naturliga förhållanden har ju grundvattennivån fluktuerat. När emellertid grundvattentrycket sjunkit (eller effektivtrycket ökat) så mycket att man når upp till lerans förkonsolideringstryck uppstår stora sättningar. Detta illustreras av vidstående figur, som visar kompressionsegenskaperna hos en lös lera. Förkonsolideringstrycket ligger på ca 75 kPa. Kompressionsmodulen över förkonsolideringstrycket är ca 12 gånger mindre än kompressionsmodulen under förkonsolideringstrycket. Det är när man nått över förkonsolideringstrycket man får de verkligt stora sättningarna. Sättningarna åtföljs naturligtvis av vattenutpressning ur leran, och genom lerans låga vattengenomtränglighet fördröjs förloppet.

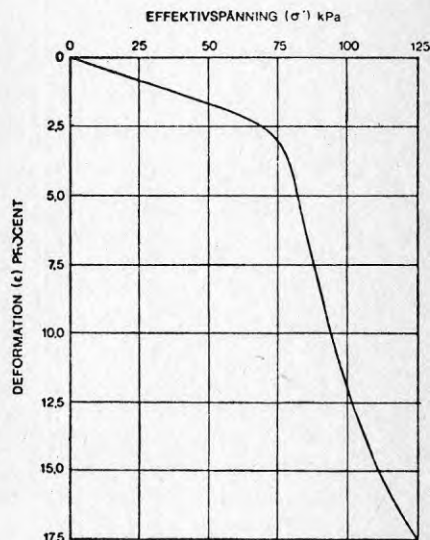


FIG. 1.1.1.5

Sättningarna i leran brukar vara tydligt iakttagbara efter ett par år. Att byggnaderna står på pålar hindrar inte uppkomst av skador, se FIG. 1.1.1.6.

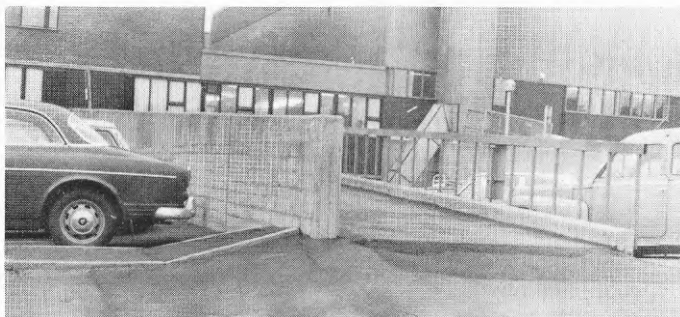


FIG. 1.1.1.6 Pålade byggnader klarar mindre sättningar ganska bra, men däremot brukar man få bekymmer med anslutningar till byggnaden såsom entréer, parkeringsplatser osv.

Sättningarna i leran håller på i många år, och det är därför dyrbart och besvärligt att åtgärda skadorna "på markytan". Reparationer av skadade ledningar, entrépartier osv. blir ständigt återkommande problem. Genom de uppfyllningar som måste göras för man på laster, vilka ytterligare ökar sättningarna.

Genom att under senare år skador förekommit i stort antal och varit mycket dyrbara och besvärliga att rätta till i efterhand har man kommit till klar insikt om fördelarna med att undanröja skadornas orsak. När skadeorsaken är grundvatteninläckning i bergtunnlar är det bästa sättet att undvika skador att bygga täta tunnlar. Viss mindre inläckning kan kompenseras genom infiltration.

1.1.2 Kort om tunneltätningsteknik

Den helt täta tunneln kan man i allmänhet inte bygga utan mycket höga kostnader, men det är heller inte nödvändigt att göra tunnlar helt täta: det är tillräckligt med en sådan reduktion av vatteninläckningen att grundvattennivån ej påverkas.

Man kan säga att man tidigare "byggde tunnlar, som man tätade vid behov". Numera försöker man vid tunnelbygge i tätort att "bygga täta tunnlar". Detta innebär en väsentlig gradskillnad. Det är inte bara ett krav att man skall ha en tunnel, denna tunnel

skall också vara tät. Kostnaden för tunneltätning kan många gånger vara av samma storleksordning som kostnaden för drivningen.

Om man skall lyckas bygga en tät tunnel får man inte betrakta tätningen som en bisak, som inte får störa drivningsarbetet. Tätningen måste vara en integrerad del av drivningen. Tätningsproblemet måste beaktas redan vid projekteringen, injekteringsarbetena skall pågå både före och efter sprängningen och vid sprängningen måste man avpassa salvorna så att man inte i onödan spräcker upp berget.

Innan man börjar ett tunnelbygge gör man först en noggrann undersökning av det område tunneln skall gå igenom. På ritning markerar man krosszoner och andra zoner i berget som man misstänker kan innehålla vattengenomsläppliga sprickor. Sättningskänsliga områden kartläggs. Grundvattensituationen bestäms genom mätning av grundvattennivån i ett system av observationshål. Denna utredning har man sedan som vägledning vid bedömning av tättningsbehovet.

Tätningen i samband med tunneldrivningen kan tillgå på något olika sätt, beroende på bergkvaliteten och vilka krav man har på tätheten (vilka skador en grundvattensänkning kan orsaka). De båda metoder man använder sig av är dels förinjektering, dels efterinjektering.

Förinjektering görs framför tunnelfronten. Som kriterium på om förinjektering skall tillgripas eller ej kan man använda resultaten från förundersökningen och/eller ställa upp kriterier på tillåten vattenförlust i borrhål i tunnelfronten. Under känsliga områden använder man ofta kontinuerlig förinjektering, ibland runt hela tunneln, ibland enbart i bottendelen där den kvarliggande syltan försvårar en kontroll av läckpunkter och en effektiv efterinjektering. Fördelen med förinjektering är framförallt att man kan använda högt tryck på injekteringsmedlet och därigenom få bättre inträngning i sprickorna samt att man undviker stora vattenläckage i samband med drivningen. En förinjektering medför också att efterinjekteringen blir lättare att utföra.

Efterinjektering görs i den utsprängda tunneln med ledning av antingen observerade läckpunkter i tunneln eller uppmätta portrycksförändringar (grundvattennivåer) i tunnelns omgivning. Efterinjek-

tering har normalt i jämförelse med förinjekteringen mer karaktär av fintätning: det gäller att tätta de läckor som finns kvar. Bl.a. på grund av att det ofta är svårt att uppnå ett tillfredsställande resultat vid efterinjektering har man dock under de senaste åren lagt större vikt på förinjekteringen för att minimera behovet av efterinjekteringar.

I partier med speciellt dåligt berg och/eller som är känsligt för grundvattenuttag tillgriper man ibland hel inklädnad av tunneln. En hel inklädnad (betong eller stål) kan göras så gott som helt tät, och ser man bara till att injektera ordentligt i båda ändar av inklädnaden (för att inte vatten skall strömma längs inklädnadens utsida) kan man få en tunnel av hög kvalitet. Hel inklädnad är emellertid en mycket dyrbar tätningsmetod då denna måste dimensioneras för fullt grundvattentryck. Om den inte erfordras som hållfasthetsteknisk förstärkning brukar man försöka klara tätningen med hjälp av injektering.

Behövs ej
alltid!

1.1.3 Injekteringsmedel

Det dominerande injekteringsmedlet i vårt land är cementsuspension, som är billigt och också rent tekniskt har många goda egenskaper. Cementsuspension används mer än övriga medel tillsammans. Cementsuspension innehåller emellertid partiklar, vilka gör att bruket inte kan tränga in i hur fina sprickor som helst. Eftersom vattenföringen även i finare sprickor kan vara tillräcklig för att orsaka en grundvattensänkning föreligger ett behov av injekteringsmedel som kan användas för tätning av sådana sprickor där cementsuspensionen ej räcker till. Även tidsfaktorn kan ibland tala för att använda andra injekteringsmedel om arbetet härigenom kan utföras snabbare.

Förutom cementsuspension används flera andra injekteringsmedel, antingen som komplement till cementinjektering eller ensamma. Basen för de vanligen förekommande injekteringsmedlen är följande:

- a) Partikelsuspensioner: cement, bentonit
- b) Vätskor (lösningar): silikat, lignin, plaster

Bentonit är ett lermineral med hög halt av montmorillonit. Bentoniten bildar ett gel med ganska låg hållfasthet men goda vidhäftningsegenskaper och låg vattengenomtränglighet.

Silikat (vattenglas) används antingen enligt tvåfasmetoden eller enfasmetsoden. Vid enfasmetsoden, som är vanligast, tillsätts före injekteringen en katalysator, som efter viss tid åstadkommer den önskade kemiska reaktionen. Flera olika silikatbaserade injekteringsmedel finns tillgängliga på marknaden.

Lignin är en biprodukt vid tillverkning av pappersmassa. För framställning av injekteringsmedel blandas som regel vissa kromsalter och ligninsulfit. Det s.k. kromligninet har dock den nackdelen att det är giftigt, vilket kan vålla problem med arbetarskydd och även påverka grundvattnet. Flera olika ligninbaserade preparat finns tillgängliga.

Plasterna utgör den största gruppen om man skall räkna antalet saluförda preparat. Flera olika typer finns - se kap. 4.

Utöver de ovan uppräknade typerna av injekteringsmedel finns en del andra, som dock används ganska sällan, exempelvis bitumenbaserade medel.

Det är punkt b) enligt ovan, injekteringsmedel i form av vätskor (lösningar), som behandlas vidare i denna rapport.

1.1.4 Behov av provningsmetoder

Det finns i marknaden en mängd olika injekteringsmedel. I regel är de baserade på någon av de i föregående avsnitt nämnda typerna. Oftast döljs emellertid sammansättningen bakom firmanamn, och varken sammansättningen eller egenskaper anges. Det är idag svårt att veta vad de olika injekteringsmedlen har för egenskaper och att jämföra olika medel. För detta krävs en enhetlig egenskapsredovisning. Det torde därför stå klart att metoder för objektiv provning av injekteringsmedel är i hög grad önskvärda.

Eftersom egenskaperna hos ett injekteringsmedel skall bedömas med ledning av det färdiga resultatet (= den tätade tunneln) är det nära nog omöjligt att föreskriva i alla avseenden objektiva provningsmetoder. Ett krav man måste ställa på en provningsmetod är nämligen att provningen skall kunna utföras till rimlig kostnad. Därför är utformningen av provningsmetoder ett krävande arbete.

I denna skrift redovisas förslag till provningsmetoder. Metoderna har utformats för att kunna göra jämförelser mellan idag förekommande injekteringsmedel. Nya medel med nya egenskaper kan förväntas tillkomma, och det är ej säkert att här föreslagna provningsmetoder går att använda för dessa nya produkter. I sådana fall kan det bli aktuellt med modifierade provningsmetoder.

Injekteringsmedlens tätningsegenskaper betraktas i denna rapport som mest väsentliga. Dessutom kan ett injekteringsmedel fylla andra egenskaper, exempelvis att öka bergmassans hållfasthet.

Den enkelt formulerbara egenskapen "att täta mot vatten" är svår att mäta direkt, men den beror av flera andra egenskaper, som var för sig är mätbara. I detta avsnitt behandlas dessa mätbara egenskaper och deras betydelse.

2.1 Inträngningsegenskaper

Inträngningen av ett injekteringsmedel som pressas in i berget genom borrhål är beroende av en rad olika faktorer, bl.a. borrhålets geometri, injekteringstryck, antal och vidd hos korsande sprickor, sprickfyllnad samt injekteringsmedlets förmåga att ta sig in i bergets olika sprickor och kanaler. Det sistnämnda är en materialegenskap som här kallas för inträngningsförmåga, vilken huvudsakligen beror av injekteringsmedlets viskositet och ytaktivitet.

2.1.1 Inträngningsförmåga

Inträngningsförmågan varierar med bergmassans vattengenomsläpplighet som beror av sprickvidd och sprickfrekvens.

För att bilda sig en uppfattning om bergets vattengenomsläpplighet och injekterbarhet brukar man mäta vattenförlusten i ett eller flera borrhål. Vattenförluster ger upplysningar om var injektering behövs och kan ge resultat samt hur injekteringen skall bedrivas.

Det vattenförlustvärde (f) som kan beräknas vid dessa mätningar brukar anges i liter per minut, meter borrhål och MPa övertryck. Det använda vattentrycket bör ej avvika för mycket från det tilltänkta injekteringstrycket. För injektering med cementbruk brukar man anse att gränsen ligger vid $V_f = 1,0 \text{ l/min meter MPa}$. Detta värde är empiriskt. För cement-bentonitsuspensioner har på samma sätt gränsvärdet $0,5 \text{ l/min meter MPa}$ angivits.

En praktisk gräns för cement- och cement-bentonitblandningars inträngning torde ligga vid sprickvidder omkring 0,6 mm, medan motsvarande gräns för bentonitsuspensioner uppskattas till ca 0,2 mm, se rapporter BFR R45:1970 och R25:1975. En förutsättning för att dessa undre gränser skall gälla är dock att sprickorna inte innehåller något finmaterial.

Den undre gränsen för lösningsinjektering kan ännu inte anges, men de försök som utförts under kontrollerade fältförhållanden visar att vissa injekteringsmedel ger mätbara injekteringsvolymmer i berg vid vattenförluster ner till mindre än 0,01 l/min meter MPa, dvs. ca 100 gånger lägre gräns än för cement. Laboratoriemässigt har fastställts att homogena lösningar kan penetrera en spalt med 0,01 mm vidd. Denna undre gräns är endast försökstekniskt betingad och anledning finns att tro att ännu mindre sprickor kan injekteras med dessa medel.

Anledningen till att man vid injektering med lösningar kan injektera så pass mycket trängre sprickor än om man använder cement och/eller bentonit är att en uppslamning av cement eller bentonit i vatten är en suspension av partiklar där partiklarnas storlek är bestämmande för inträngningen i fina sprickor. I vattenfasen av en cementsuspension finns upplöst den vattenlösliga delen av cementet. Laboratorieförsök med cementinjektering har visat att en agglomeration av partiklar äger rum utmed den framträngande fronten under separation av vattenlösning, som fortsätter inträngandet en kort bit.

I tidigare rapporter har visats sambandet mellan inträngningen av olika injekteringsmedel i kolonner fyllda med sand, i spalter och i sprickor i bergtunnel.

Inträngningshastigheten för ett injekteringsmedel beror utom av trycket av bl.a. viskositet och ytspänning. Viskositeten ökar genom vätskans härdning och beror därför av tiden från blandning av de ingående komponenterna. Viskositeten ökar också med sjunkande temperatur.

Kombinationen hög viskositet/låg ytspänning (t.ex. epoxiharts) kan ge bättre inträngning än låg viskositet/hög ytspänning (t.ex. silikat).

Som visats i föregående rapport beror inträngningen i hög grad av om injekteringsmedlet innehåller partiklar som kan bygga upp filterproppar eller ej. Detta är normalt ej fallet vid homogena injekteringsmedel. Ibland bildas dock s.k. mikrogel.

I en kolonn eller bergspricka fylld med finkornigt material kan ytadsorption av en komponent av injekteringsmedlet påverka inträngningen, t.ex. ytaktivt ämne som adsorberas ur lösningen.

Inträngningen påverkas även av utspädning i fronten mot vatten i bergsprickan eller i högre grad av förekommande strömmande vatten.

Inträngningsförmågan är således i heterogena system (partikelsuspensioner) i första hand beroende av partiklarnas storlek i suspensionen. Inträngningsförmågan påverkas dessutom av viskositet och ytspänning. I homogena system (lösningar) är inträngningsförmågan beroende av huvudsakligen viskositet och ytspänning hos injekteringsmaterialiet. I vissa fall kan inträngningshastigheten bli avgörande för valet av injekteringsmedel t.ex. vid förinjektering då tidsfaktorn tillmäts en betydelsefull roll.

Inträngningsförmågan kan mätas direkt med hjälp av sandpelarförsök, se kap. 3, Provningsmetoder, jfr BFR-rapport R25:1975, eller indirekt genom bestämning av viskositet och ytspänning.

2.1.2 Viskositet

Hos alla vätskor finns ett visst motstånd mot formförändringar. Motståndets storlek beror på vätskans inre friktion eller viskositet samt på rörelsetillståndet. Även hos lättflytande vätskor, t.ex. vatten, har detta motstånd en betydande inverkan på de flesta rörelseförlopp. Viskositeten definieras som den kraft per cm^2 som erfordras för att i ett vätskeskikt av 1 cm tjocklek hålla övre ytan i rörelse relativt den undre ytan med en hastighet av 1 cm/sek (Newton 1687).

Enheten för viskositet är pois. De vanligast förekommande vätskornas viskositet brukar allmänt betecknas med centi-pois, cP, dvs. ett 100 gånger mindre tal. Viskositeten bestämdes tidigare genom mätning av uttrinngstiden ur ett kärl med definierad utrinningsöppning, t.ex. "Ford-koppen" eller "Marschkonen". Dessa metoder har fortfarande betydelse och används när man i fält på ett enkelt sätt vill få ett närmevärde för viskositeten. Vid laboratoriebestämning av viskositeten används numera nästan uteslutande den s.k. rotationsviskosimetern, se vidare kap. 3, Provningsmetoder.

De flesta vätskors viskositet avtar med tilltagande temperatur, dvs. blir mer lättflytande, se TAB. I.

TABELL I. Viskositet hos vätskor, cP

	0°C	+20°C	+25°C	+50°C
Vatten	1,793	1,000	0,895	0,549
Etylalkohol	1,773	1,200		1,702

Viskositeten ökar något vid en höjning av trycket.

Det är fördelaktigt att arbeta med lågviskösa injekteringsmedel vid injektering av mycket fina sprickor, framför allt om tidsfaktorn tillmätts någon avgörande betydelse. Vid de försök med inträngning i sandpelare och tunna sprickor som tidigare utförts har man emellertid kunnat konstatera att även vätskor med förhållandevis hög viskositet kan tränga fram i tunna spalter och genom kornskelettet i sandpelare. Detta beror på den andra viktiga faktorn i sammanhanget, nämligen ytspänningen.

2.1.3 Ytspänning

En vätskeyta tenderar att dra ihop sig för att ernå minimiarea på grund av molekyllär attraktion inåt vätskan vid ytan. Det yttersta molekyllagret attraheras nämligen enbart åt sidorna och inåt vätskan. Det uppstår därigenom ett tunt ytskikt av större täthet än vätskan i övrigt. De tangentiella attraktionskrafterna i ytskiktet ger upphov till en dragspänning i ytan, den s.k. ytspänningen. På grund av ytspänningen strävar vätskans ytlager att forma vätskan så att den får minsta möjliga yta, t.ex. droppen.

Ytspänningen uttrycks i dyn/cm och den praktiska bestämningen av densamma kan ske på flera sätt, se kap. 3, Provningsmetoder.

Inträngningsförmågan är bättre hos ett injekteringsmedel som har god förmåga att väta sprickans ytor. Så har t.ex. epoxy visat god inträngningsförmåga trots relativt hög viskositet.

2.2 Gelnings- och härdningsegenskaper

De härdande lösningarna för injektering utgörs av vätskor som efter en viss tid övergår i fast form. Då härdningsreaktionen börjar sker en successiv förstoring av bindemedelsmolekylerna och ibland en tvärbinding mellan dessa. Då molekylförstoringen nått så långt att vätskan inte längre kan formförändras utan brott har man nått gelpunkten. Tiden från härdningsreaktionens början till gelpunkten kallas geltid. Efter det att gelpunkten uppnåtts fortsätter härdningsreaktionen och injekteringsmedlet blir fastare. Härdningstiden är den tid som fordras för att uppnå avsedda slutegenskaper hos medlet.

Möjligheten att vid injektering variera geltiden inom relativt vida gränser är en utmärkande egenskap hos de flesta av dessa injekteringsmedel. En lång geltid kan många gånger vara önskvärd för att man skall få ut injekteringsmedlet så långt som möjligt in i fina sprickor. Inte sällan inträffar dock vid injektering att materialet rinner tillbaka via ytliga sprickor. För att förhindra detta kan då geltiden ställas kortare eller någon metod användas för att få till stånd en snabbare härdning just vid uttrinningspunkterna. Vid injektering med silikatprodukter används ibland

påstrykning av cementbruk som snabbhärddar silikatet. Vid injektering av andra material än silikat kan i stället användas för materialet ifråga avpassade koncentrerade härddarlösningar. Korta geltider på några minuter eller mindre används även när man vill tätta mot större läckage, se vidare nedan.

När man skall använda härdande lösningar som injekteringsmedel är deras gelnings- och härdningsegenskaper väsentliga och man måste känna till hur de fungerar under gelnings- och härdningsförloppen och hur avsedda slutegenskaper kan påverkas på olika sätt.

De främsta faktorerna som kan påverka slutresultatet negativt är:

doseringsfel, utspädning, ursköljning, temperatur, föroreningar, syneresbildning och mikropelbildning.

Vid utformning av provningsmetoder avseende gelnings- och härdningsegenskaper bör man därför även undersöka dessa olika faktorerers påverkan.

2.2.1 Påverkan genom utspädning

Man kan dela in preparaten i vattenspädbara och icke vattenspädbara preparat. Till de förra hör t.ex. silikater, ligninbaserade och vissa akrylbaserade preparat. Till de senare hänför sig i huvudsak epoxypreparaten.

För att gelningsprocessen efter injektering skall fortsätta planligt erfordras att de vattenspädbara preparaten ej utsätts för en sådan utspädning att geltiden förrycks eller att vid kraftig utspädning hela härdningsförloppet hejdas och gelning uteblir. Starkt vattenförande zoner kan därför medföra problem med vattenspädbara preparat. Genom att ställa härdningstiden mycket kort samt genom att öka den injekterade mängden per tidsenhet kan man dock i regel tätta sådana zoner. Det vanligaste är dock att först grovtäta med cementbruk och därigenom minska vattenströmningen.

Icke vattenspädbara preparat är inte på samma sätt känsliga för utspädning men kan spolats bort av vattenströmningar i berget.

2.2.2 Temperaturberoende

Att de i en kemisk reaktion ingående beståndsdelarnas reaktionshastighet varierar med temperaturen är allmänt känt och de reaktioner som äger rum i ett injekteringsmedel vid härdningen utgör inget undantag härvidlag. De flesta härdande injekteringsmedel har en längre härdningstid ju lägre temperatur som råder i injekteringsmaterialet vid injekteringen. Så t.ex. förlängs resp. förkortas geltiden för Geoplast 45 (akryl) ca 2 gånger vid en sänkning resp. höjning av temperaturen med 7° . Motsvarande faktor för Stabilodur C (silikat) är ca 2 vid 10° förändring av temperaturen.

En uppvärmning av injekteringsmaterialet före injekteringen har sällan någon större effekt vid injektering i berg då den värmeavgivande ytan blir så stor att materialet snabbt nedkyls till det omgivande bergets temperatur.

Vid de temperaturer som vanligtvis förekommer vid berginjektering ($+3^{\circ}$ till $+8^{\circ}\text{C}$) är möjligheten att variera härdningstiden inom relativt vida gränser tämligen stor för de flesta förekommande preparat. Beroende på utformningen av injekteringsapparaturen, se vidare kap. 2.6, Speciella krav på injekteringsutrustningar m.m., kan man oftast ställa geltiden inom intervallet 1-60 min. Det vanligaste torde vara 15-45 min. För cement brukar vanligen motsvarande tid vara 3-5 timmar.

2.2.3 Påverkan av föroreningar

Gemensamt för nästan samtliga härdande injekteringsmedel är att de ställer vissa bestämda krav på sin omgivning (miljö) för att härdningsreaktionen skall fortgå planenligt. Grundvattnets salthalt och pH samt i vissa fall den kemiska uppbyggnaden av berggrunden, beläggning på sprickytor etc. kan påverka härdningsförloppet. Starkt sura eller basiska grundvatten utgör ofta den största provostenen vid en slentrianmässig hantering av injekteringsproblemen. Understundom kan ett extremt pH omöjliggöra injektering med ett visst preparat om man inte genom exempelvis buffring av injekteringslösningen kan så att säga immunisera denna. Undanträngning med vatten är dock den vanligaste metoden. Ett annat problem är att det vid fintätning efter en injektering med cement kan uppstå problem med härdningen i det fall man

använder preparat som härdar enbart i sur miljö, t.ex. karbamider. Det uppstår då ett "ingenmansland" i kontaktzonen mellan cement och karbamid bestående av icke härdad karbamidlösning. Av det ovanstående framgår att man vid utförande av injektering måste ta hänsyn till förhållandena på platsen för att ha utsikter att lyckas.

2.2.4 Påverkan på grund av syneres

Syneres är ett fenomen som innebär att vattenhaltiga injekteringsmedel under eller efter härdningsprocessen krymper under avskiljande av moderlut. Detta har ej samband med uttorkning. Syneresen är oftast mindre i slutna system än i öppna. Vid injektering i berg är systemet huvudsakligen slutet, men i injekteringszonens ytterparti kan systemet vara öppet.

2.2.5 Påverkan på grund av mikrogel

Vid blandning av komponenterna av vissa injekteringsmedel kan s.k. mikrogel bildas, små partiklar av gel som bildas genast efter sammanblandningen. Mikrogelen medför att injekteringsmedlet ej längre är en homogen vätska. Bildningen av mikrogel kan påverkas genom modifiering av recepturen och blandningsproceduren.

Om mikrogel bildas vid blandningen får injekteringsmedlet vanligen starkt förkortad geltid och hanteringstid.

2.3 Mekaniska egenskaper

2.3.1 Hållfasthetsegenskaper

Med hållfasthetsegenskaper avses här slutproduktens hållfasthets- och deformationsegenskaper. Dessas betydelse varierar beroende på om det är fråga om för- eller efterinjektering, injektering i uppsprucket berg eller i berg med ett fåtal sprickor osv. De egenskaper som redovisas liksom den provning som föreslås, avser tätning av berg som utsätts för "normala" påfrestningar.

Hållfasthetsegenskaperna är sällan avgörande för ett injekteringsmedels användbarhet men ger en uppfattning om allmänna egenskaper och kan användas för jämförelse mellan olika medel.

För vissa objekt t.ex. gasolanläggningar där injekteringsmedlet utsätts för stark nedkylning har man naturligtvis speciella krav på injekteringsmedlets hållfasthetsegenskaper. Dessa speciella fall ställer krav på särskild provning av de material som kan tänkas användas.

Hållfastheten har normalt liten betydelse när det gäller att täta fina sprickor. När man vill uppnå inte bara vattentäthet utan också förstärkning av berget är det däremot önskvärt med en hög hållfasthet hos injekteringsmedlet.

De hållfasthetsegenskaper som definieras här indelas i tryckhållfasthet (i vissa fall gelstyrka), draghållfasthet och skjuvhållfasthet. Kopplingen mellan dessa är materialberoende, dvs. beror av vilken brotthypotes som gäller för materialet. För att möjliggöra en bedömning av injekteringsmedlets hållfasthet torde det vara tillräckligt med en undersökning av kraft-deformationssambandet vid enaxiellt tryck.

De elastiska och plastiska deformationerna är av intresse vid bedömning av hur injekteringsmedlet beter sig när små rörelser uppstår i berget. Sådana rörelser kan uppkomma som en följd av de spänningsförändringar som inträffar vid upptagning av hålrummet i berget. Det kan vara fördelaktigt om injekteringsmedlet tål en viss deformation utan att spricka eller smulas sönder. Både den elastiska och plastiska deformationen bör belysas genom provning.

2.3.2 Vidhäftning

God vidhäftning av det gelade/härdade injekteringsmedlet till sprickornas ytor är önskvärd för att erhålla god tätningfunktion. Ett injekteringsmedel med god vidhäftning medför mindre risk för urpressning ur sprickan. Sprickytorernas skrovlighet är dock vanligen tillräcklig för att hindra detta. Vid rörelser i bergmassan kan vidhäftningen däremot vara väsentlig för att tätningseffekten ej skall gå förlorad.

Med god vidhäftning minskar även risken för urlakning. Om man förutom tätning mot vatten vill åstadkomma förstärkning av berget har även vidhäftningen betydelse.

Vidhäftning är lätt att mäta i laboratorium. Även om vidhäftningen till bergytor påverkas av ytornas renhet, vattenfilm etc. och det därför blir svårt att jämföra sådana värden med verkliga förhållanden bör vidhäftningen med hänsyn till ovanstående ingå i egenskapsredovisningen.

2.4 Beständighet

Beständighet är en viktig egenskap som är relativt litet undersökt. Denna egenskap är kanske svårast att definiera och utprova. Man kan säga att injekteringen är beständig så länge som den uppfyller den funktion som den avsetts för t.ex. att läckvattenmängden inte överskrider ett bestämt värde.

En utförd injektering kan spolieras på olika sätt av vilka de viktigaste skall beröras. De olika processerna kan påverka och förstärka varandra.

2.4.1 Uttorkning, kondensation eller syneres

Vissa injekteringsmedel kan brytas ner på grund av förändringar hos själva medlet. Vattnet i medlet, som ofta utgör en betydande del av volymen kan t.ex. försvinna med tiden på grund av uttorkning, kondensation eller syneres.

2.4.2 Urlakning

Den viktigaste orsaken till nedbrytning är dock urlakning. Teoretiskt sett är alla vattenbaserade injekteringsmedel i någon mån lösliga i långtidskontakt med vatten. Detta gäller också cementgel som har studerats mer ingående i betongsammanhang. Dessutom är det så att de kemiska reaktioner, som äger rum när gelen bildas sällan är kompletta eller irreversibla, vilket ökar risken för nedbrytning.

Denna effekt kan göra sig särskilt märkbar om vattnet har möjlighet att tränga vid sidan av gelen i sprickor eller porer eller genom krossad eller porös gel. Detta medför ökad kontaktyta mellan vatten och gel samt tillförsel av nytt vatten till gelen. Gelen upplöses då mycket snabbare än när den vid full sprickfyllnad med

liten yta står i kontakt med nära nog stillastående vatten mättat med upplöst gelsubstans. Processen styrs då av långsam diffusion av gelsubstans och av långsam upplösning av gelen av de ytterst små mängder, som strömmar genom gelen. Vanliga permeabilitetsvärden för gel är 10^{-10} ä 10^{-11} m/sek.

Vattnets kemiska karaktär - t.ex. surt, alkaliskt eller innehåll av kalk, järn, svavelsyra, svavelsyrighet, humussyror, bikarbonat - har stor betydelse för dess förmåga att lösa gelen. -Vissa föroreningar kan inverka på dimensionsändringar hos gelen genom syneres eller osmos men även gynnsamt påverka gelens resistens mot upplösning. - Man kan därför ej i förväg bedöma injekteringens beständighet utan att ta hänsyn till det omgivande vattnets kemi.

2.4.3 Krypning eller krossning

En tredje orsak till injekteringsmedlets nedbrytning kan vara krypning eller krossning genom bergets rörelser eller att gelen är för svag att motstå vattentrycket. Vid de fina sprickor och de måttliga vattentryck vi för det mesta kommer i kontakt med behövs det dock en relativt obetydlig gelstyrka för att injekteringsmedlet skall kunna motstå vattentrycket.

2.4.4 Andra tänkbara orsaker till nedbrytning kan vara vibration eller omväxlande frysning och upptining ävensom höga och låga temperaturer.

2.5 Miljöeffekter. Arbetarskydd - Miljöskydd

Bland de "kemiska injekteringsmedel" som används har en del karaktären av vådliga eller t.o.m. giftiga ämnen. Komponenter, blandningar, reaktions- eller nedbrytningsprodukter av injekteringsmedel kan vid transporter, hantering eller användning vålla skada om de har giftiga, vådliga, brand- eller miljöfarliga, korrosiva eller besvärande (lukt och smak) egenskaper. Skador kan ske genom inandning, kontakt med hud och ögon samt oralt med ämnena i form av ånga, vätska eller damm. Ovannämnda egenskaper kan i vissa fall även medföra förorening av grundvattnet.

Efter blandningen av komponenter börjar en reaktion, som syftar till

bildning av gel. Vid reaktionen bildas biprodukter. Genom kemisk eller bakteriell nedbrytning av komponenter eller biprodukter fortsätter omvandlingen.

Helst skulle produkterna endast innehålla eller bilda ofarliga ämnen. Detta är emellertid praktiskt ogenomförbart. Som exempel kan nämnas att cement kan väcka kromallergier och är på grund av sin höga alkalitet direkt farlig vid kontakt med ögonen. Även alkalisk silikat kan genom sin alkalitet orsaka ögonskador.

För att belysa hithörande problem lämnas här tre exempel:

Akrylamid, t.ex. under handelsnamnet AM 9, är en giftig monomer, som i vattenlösning används för injektering. Monomer akrylamid kan orsaka nervskador; symptom t.ex. darrningar. Monomer akrylamid polymeriseras i vattenlösning och försvinner därvid. Vid fackmässig hantering är dock risken för grundvattensskador liten.

Kromlignin, handelsnamn t.ex. Terra Firma, innehåller sexvärt krom som är cancerframkallande och kan ge skador både genom hantering och via grundvatten.

En del gelningsmedel för natriumsilikat kan vara skadliga. Ett exempel är formamid som kan ge upphov till kromosomförändringar. Vid mycket stora doser har vid prov på råttor genetiska skador konstaterats. Formamid sönderdelas i blandning med natriumsilikat relativt långsamt och kan därför medföra risker både vid hantering på arbetsplatsen och via grundvatten. Risken är dock relativt liten, ämnet klassas som vådligt. Risken för grundvattenförorening från härdare ligger främst i spill vid hantering.

Risken att skadliga ämnen från gelande injekteringsmedel skall spridas till grundvattnet sammanhänger med storleken av eventuell syneres. Reaktionen går i början ganska snabbt, men de sista resterna omvandlas långsamt. Det mesta av härdaren hålls bundet i den bildade gelen. Om syneresen är stor kommer dock en betydande andel att återfinnas i syneresvattnet. Då stor syneres samtidigt innebär att det bildade syneresvattnet kan transporteras förbi gelen till grundvattnet, kan syneresens storlek ha större betydelse än förekomsten av vådliga komponenter, reaktions- eller nedbryt-

ningsprodukter. Överdoserings av det skadliga ämnet kan även leda till ökad miljörisk.

De från hälsosynpunkt mest olämpliga produkterna bör om möjligt inte användas. Hantering, skyddsutrustning etc. måste anpassas med hänsyn till använt injekteringsmedel. Risken för skador på omgivningen måste beaktas. Instruktioner och utrustning för behandling av tänkbara personskador samt hantering av spill skall finnas förberedda och tillgängliga på arbetsplatsen. (Ansvaret för eventuella skador vilar på leverantören/entreprenören.)

Antalet institutioner, lagar, förordningar och anvisningar rörande arbetarskydd - miljöskydd är betydande.

Formella insatser är:

Arbetarmiljöfrågor: yrkesinspektionen i distriktet.

Miljöskydd: länsstyrelsens naturvårdsenhet.

Hjälp med bedömning av risker och lämplig skyddsutrustning samt förebyggande åtgärder kan fås av Bygghälsan och Arbetarskyddsstyrelsens arbetsmedicinska avdelning.

Vid sidan av kemiska risker får man ej glömma sambandet mellan risk för kontakt genom läckage eller brott på packningar och slangar. Sådana brott kan dessutom orsaka direkt mekaniska skador om höga tryck används.

För att undvika förorening av grundvattnet bör följande klargöras:

- Hur fullständigt det skadliga ämnet sönderdelats genom kemisk reaktion.
- Hur långt man kan bedöma att bakteriell nedbrytning reducerat den efter reaktion kvarvarande mängden skadligt ämne.
- Fördelningen av den uppskattade mängden mellan i gelen inkopplat ämne och i syneresvattnet upplöst ämne.
- Den uppnådda tättningsgraden.
- Den positiva effekten av utspädningen i grundvattnet.

Beständigheten är svår att prova. Tillgänglig kunskap gör det emellertid möjligt att jämföra olika injekteringsmedel i miljöer av olika kemisk karaktär.

TAB. II nedan ger exempel för tre injekteringsmedel.

Miljö	Cement	Silikat	Epoxi
Vatten, neutralt	+ +	+	+ +
Vatten, surt	0	+ +	+
Alkalisk, Ca ²⁺	+ +	+ +	+ +
Alkalisk, ej Ca ²⁺	+ +	-	+ +
SO ₄ ²⁻ (t.ex. från skiffer)	0	+	+
Osmos (t.ex. saltvatten)	+ +	+	+ +
Polära ämnen (t.ex. aceton)	+ +	+	-
Mycket beständigt	+ +		
Beständigt	+		
Ringa beständighet	0		
Dålig beständighet	-		

2.6 Speciella krav på injekteringsutrustningar m.m.

De krav som bör ställas på injekteringsutrustningar vid injektering av "kemiska" preparat är i vissa fall andra än vid en konventionell cementinjektering. Vid injekteringen utnyttjas dock ofta flera av de utrustningsdetaljer som används vid cementinjektering. De huvuddelar som ingår i utrustningen för "kemisk injektering" är följande:

- blandare med omrörare
- förvaringskärl (utjämningsbehållare) med omrörare
- injekteringspump
- flödesmättningsutrustning
- injekteringsrör med manschetter
- injekterings slangar
- doseringsapparatur (mätkärl och/eller doseringspumpar)
- eventuell vattenförlustmättningsutrustning

Kraven på injekteringsutrustningen måste ställas med hänsyn till injekteringsmedel, tänkt arbetsutförande, injekteringens ändamål

och omfattning. Vid uppställande av krav bör emellertid följande synpunkter beaktas.

B l a n d a r e m e d o m r ö r a r e

Blandare bör väljas med hänsyn till injekteringsmedlets krav på blandning. Normalt kan samma typ av blandare som för cementinjektering användas. Om en eller flera blandare erfordras beror av satsernas storlek, härdningstid, injekteringens omfattning m.m.

F ö r v a r i n g s k ä r l (utjämningsbehållare) m e d o m r ö r a r e

Krav på omrörning i utjämningsbehållare får ställas med hänsyn till det kemiska preparatets sammansättning. Omrörningen skall säkerställa en homogen blandning under hela injekteringen och förhindra separation och/eller sedimentation. Vid injektering med trycktank kan för mindre satser trycktanken fungera som förvaringskärl.

I n j e k t e r i n g s p u m p

Normalt har man samma krav på injekteringspump som vid cementinjektering, dvs. pumpen skall ge ett jämnt flöde och konstant tryck och vara försedd med manometer som visar injekteringstrycket. Möjlighet till flödesmätning skall finnas.

Om trycktank används vid injekteringen ersätts pumpen av denna. Kravet på tryck- och flödesmätningmöjligheter är härvid desamma.

I n j e k t e r i n g s r ö r m e d m a n s c h e t t e r , i n j e k t e r i n g s s l a n g a r

Injekteringsmanschetterna skall vara så konstruerade att de ger en god tätning mot borrhålsväggen. Utrustning med slangar och kopplingar bör provtryckas före igångsättning av ett injekteringsarbete. Särskilt vid användning av frätande eller giftiga preparat bör kraven på tryckdelen av injekteringsutrustningen ställas högt.

Doseringsapparat

Doseringsapparaturen kan bestå av mätkärl och/eller doseringspumpar för uppmätning av härdare och andra tillsatsmedel. Mätnoggrannheten bör ställas i relation till kravet på noggrannheten på doseringen. Bl.a. ställs härdningstiden oftast med hjälp av tillsatt mängd härdningsmedel.

Vattenförlustmätning

För att hålla kontroll på injekteringen och ställa lämplig härdningstid krävs möjligheter att utföra vattenförlustmätningar i de olika borrhålen, jfr kap. 2.1. Mätningarna kan utföras antingen med hjälp av injekteringsutrustningen eller med en särskild utrustning för detta ändamål. Vid användandet av en särskild utrustning behöver inte andra krav ställas än att tillräckligt stora tryck vid konstant flöde kan användas samt att möjligheter finns att mäta vattenförluster vid olika pålagda övertryck.

Allmänna synpunkter

- Utrustningens delar måste väljas med hänsyn till injekteringsmedlets kemiska påverkan: korrosion, svällning och upplösning av plast- och gummidetaljer.
- Injekteringsmedlet kan påverkas av material som används i utrustningen. Vissa akrylater och vattenlösliga monomerer är känsliga för metaller genom att bl.a. härdningstiden påverkas. Plastbehandling och byte till plastdetaljer i utrustningen måste då göras.
- Speciella kärl för tillvaratagande av överskottsmaterial (spill) bör finnas på arbetsplatsen.

De provningsmetoder som beskrivs och föreslås nedan avser egenskaper som är väsentliga för beskrivning av de idag vanligen förekommande injekteringsmedlen i form av härdande lösningar. Metoderna är även valda med hänsyn till att de skall vara relativt enkla och att egenskaperna skall gå att kvantifiera. Angivna provserier avser i första hand allmän egenskapsredovisning, för att man skall kunna göra jämförelser mellan olika injekteringsmedel.

För provningar i fält kan det vara tillräckligt med enklare rutinprovningar men vissa av de föreslagna metoderna kan också användas. För provningar i samband med projekt lämnas inga detaljerade förslag till provningar men i vissa fall lämnas några allmänna synpunkter.

3.1 Inträngning

De egenskaper hos ett injekteringsmedel som påverkar inträngningen i smala spalter vid ett visst pålagt tryck är ännu inte helt klarlagda. Huvudsakligen torde dock viskositet och ytspänning vara de faktorer som bestämmer inträngningen. Följande faktorer bör provas:

A l l m ä n e g e n s k a p s p r o v n i n g

- Inträngningsförmågan kan mätas direkt i simulerade spalter. Det är emellertid svårt att laboratoriemässigt imitera bergsprickor. I en tidigare undersökning (Bergman m fl R25:1975) har visats att man kan ersätta spaltförsök med den enklare provningsmetoden att mäta inträngningsförmågan i sand, det s.k. sandpelarförsöket. Inträngningsförmågan genom sand bör visas vid normalt använd geltid och vid olika temperaturer. Inträngningshastighetens förändring fram till gelpunkten kan även studeras, jfr kap. 3.2.

- Viskositeten vid olika förhållanden bestäms, jfr kap. 3.2. Viskositeten kan mätas på olika sätt: a) genom mätning av tiden för uttrinning ur ett kärl med bestämd uttrinningsöppning erhålles den kinematiska viskositeten, b) genom mätning av det vridmoment som krävs för att rotera en kropp med given form, s.k. rotationsviskosimeter erhålles den dynamiska viskositeten. Med denna typ av utrustning fås mätvärden som är mindre beroende av tixotropin hos injekteringsmedlet, och man kan lätt mäta viskositetens tidsberoende.
- Ytspänning
Ytspänningen kan mätas på olika sätt t.ex uppsugning i kapillär, mätning av droppvikt, Du Noüys ringmetod samt mätning av konturen av droppar eller bubblor. Mätning av kontaktvinkeln mellan en droppe av injekteringsmedlet och en planslipad yta av bergmaterial ger en god jämförelse av ytspänningen hos skilda injekteringsmedel.

Denna metod är emellertid komplicerad och för praktiskt bruk i detta sammanhang rekommenderas därför den betydligt enklare men mindre exakta metoden med uppsugning i kapillär.

Provning utförs vid ett blandningsförhållande motsvarande normal geltid samt vid olika temperaturer och tidpunkter under gelningstiden.

P r o v n i n g a r i s a m b a n d m e d p r o j e k t

För det enskilda projektet kan det erfordras speciella provningar av ett injekteringsmedels inträngningsegenskaper. Några av de egenskaper som kan behöva utredas är den yttre miljöns eventuella påverkan t ex genom föroreningar i grundvattnet och injekteringsmedlets inträngningshastighet vid olika tryck. Jfr även kap 3.2.

3.1.1 Inträngningsförmåga - Sandpelarförsök

P r i n c i p

Hastigheten för injekteringsfrontens penetrering i en spricka vid ett visst pålagt tryck simuleras med sandpelarförsök. Injekteringsmedlet får av egen tyngd tränga ned i sand som har en kornstorlek motsvarande en viss spaltvidd. Inträngningshastigheten mäts vid olika tidpunkter tills gelning sker.

U t r u s t n i n g

Glasrör med längden 300 mm och innerdiametern 10 mm fyllda med torr sand används. Sandsort: Baskarp nr 7, natursand med runda korn, siktkurva enligt FIG. 3.1.1.1. Siktkraktion 0,15-0,25 mm.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

Glasrören, torra, placeras lodrätt i en ställning och fylls upp med sand till 200 mm höjd. I botten förses rören först med filter bestående av glasull och kork med skåra.

Sanden packas genom vibrering, 15 knackningar mot glaset. På sandpelarens överyta tillsätts med pipett 7 ml injekteringsmedel 2 min. efter beredning. Sats tillverkad efter recept. Med stoppur, 0,1 sek avläsningsmöjlighet, registreras inträngningsfrontens läge på en millimetergraderad mätskala varje jämn minut under tre minuter.

För undersökning av förändringar under hela gelningsförloppet, se även kap. 3.2, fortsättes registreringen med jämna tidsintervall, minimum 6 st, under gelningstiden (tills fronten avstannar). Om fronten hinner tränga igenom hela sandpelaren före stopp tillsätts 7 ml av den iordninggjorda satsen till ett nytt sandfyllt rör osv. Temperaturen hålls konstant $\pm 1^{\circ}\text{C}$ under hela försökstiden. Försöken utförs vid två temperaturer, +20 och +5 $^{\circ}\text{C}$. Injekteringsmedlets temperatur dock i båda fallen +20 $^{\circ}\text{C}$.

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Inträngningshastigheten uttryckt i mm/min. som ett medelvärde av de tre mätningarna vid aktuell temperatur. För den senare delen av försöket uppritas ett väg-tiddiagram.

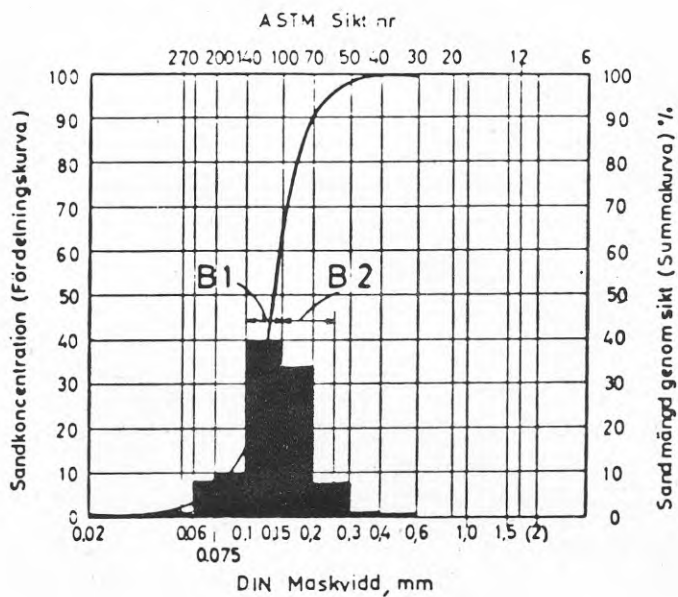


FIG. 3.1.1.1 Siktkurvor för Baskarpsand nr 7. De rensiktade fraktionerna B1:0,1 - 0,15 mm och B2:0,15 - 0,25 mm har markerats.

3.1.2 Viskositet

Se kap. 3.2.1

3.1.3 Ytspänning

P r i n c i p

Ett cirkulärt kapillärrör, som delvis är nedsänkt i vatten, suger upp vattnet till en viss höjd. Vätskeytan i kapillären, menisken, kommer att uppvisa en viss krökningsradie till följd av ytspänningen och adhesionskrafter mellan vätskan och kapillärväggen.

För vatten gäller approximativt $h = 14,9 \times 10^{-6} \times \frac{1}{r}$

h = stighöjd i meter

r = kapillärrörets innerdiameter i meter

U t r u s t n i n g

Glasbägare. Kapillärrör av glas med längden ca 15 cm och inre diameter 1 mm.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

Glasröret fästes så att dess nederända sticker en bit ner i vätskan i skålen. Meniskens höjd över den fria vätskeytan mäts.

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Avläsningen protokollförs. Värdet ställs i relation till motsvarande värde för vatten.

3.2 Gelning och härdning

Begreppet gelnings- och härdningsegenskaper inrymmer en mängd olika degenheter av vilka vissa är svåra för att inte säga omöjliga att bestämma. Föreslagna provningar och metoder torde dock i allmänhet vara tillräckliga för bedömningar och jämförelser.

Allmän egenskapsprovning

- Geltider, dvs. gränser för användbara högsta och minsta värden bör anges.
- Doseringsnoggrannhet för olika komponenter bör anges. Även blandningsnoggrannheten är väsentlig varför blandningsförfarandet skall beskrivas.
- Gelnings- och härdningsförloppet vid olika gelnings- och temperaturer bör visas genom mätning av viskositetsförändringen med tiden fram till gelpunkten och förändringen av gelstyrka under härdningen.
 Provningsen görs med användande av två olika metoder, dels viskositetsbestämning genom omrörning, dels genom utströmning.
 Med dessa provningar får man allmänna informationer om gelnings- och härdningsförloppen, gelnings- och härdningens temperaturberoende, ev. skadlig mikrogelbildning, ev. tixotropiska egenskaper m.m.
 Sandpelarförsök kan även användas för att undersöka förändringar under gelningsförloppet, se kap. 3.1.1.
- Medlets ev. reaktion med andra ämnen (miljöberoende) provas. En sur och en alkalisk miljö undersöks.
 Bergvattnets sammansättning kan inverka på injekteringsmedlets gelning, härdning och beständighet. Kalciumjoner, t.ex. från förinjektering med cement kan förhindra härdning av karbamidbaserade medel. Surt bergvatten, t.ex. genom svavelsyra från pyrit, kan orsaka gelning av silikatbaserade medel. Därigenom försvåras inträngningen av medlet.

- Krympning kan orsakas av uttorkning eller syneres. I de flesta fall i samband med injekteringar mot vattenläckage bör risken för krympning genom uttorkning vara minimal varför någon provningsmetod härför ej anges.

Krympning p.g.a. syneres liksom vattenlöslighet och osmotiska effekter undersöks genom pyknometerförsök.

P r o v n i n g a r i s a m b a n d m e d p r o j e k t

För det enskilda projektet bör man ange de speciella krav man har på injekteringsmedlet och analysera de förhållanden (den miljö) i vilken injekteringen skall utföras. De egenskaper som kan påverkas p.g.a. lokala förhållanden i det enskilda projektet bör provas i enlighet med de provningar som utförs för bestämning av injekteringsmedlets allmänna egenskaper.

Under utförandeskedet utförs kontroller och avsedda gelnings- och härdningsegenskaper följs upp. Normalt torde det härvid räkna med enkla rutinkontroller, typ bestämning av gelpunkt.

3.2.1 Viskositetsbestämning, dynamisk

P r i n c i p

Gelningsförloppet bestäms genom mätning av den dynamiska viskositeten som en funktion av tiden under gelningen. Viskositetsändringen med tiden visar när gelningen börjar, om gelningen går snabbt eller långsamt, om gelpunkten är diffus etc.

För viskositetsbestämningarna föreslås en Brookfield-viskosimeter. Denna medger viskositetsbestämningar inom ett stort viskositetsområde genom att man kan välja olika typer av rotationsspindlar; en cirkulär skiva, en homogen cylinder eller en nedåt öppen ihålig cylinder. Spindel väljs efter den provade vätskans ungefärliga viskositet. Provkroppen sänks ned i ett kärl med injekteringsmaterialet och det vridmoment som krävs för att hålla en viss konstant rotationshastighet registreras. Via omräkningstabeller erhålls viskositeten uttryckt i centi-pois.

Brookfield-viskosimetern är genom sin konstruktion lämplig för vätskor med skilda reologiska egenskaper.

Viskositeten definieras genom ekvationen:

$$\eta = \frac{F}{A} \cdot \frac{1}{\frac{dv}{dx}}$$

där $\frac{F}{A}$ är kraften per ytenhet

och $\frac{dv}{dx}$ är hastighetsgradienten.

Man bör observera att viskositeten kan vara beroende av hastighetsgradienten.

U t r u s t n i n g

Brookfield-viskosimeterns konstruktion framgår av FIG. 3.2.1.1. Vridmotståndet överförs till en noggrant kalibrerad spiralfjäder som står i förbindelse med en visare. Kalibrering sker med silikonbaserade vätskor som har litet temperatur- och fuktberoende.

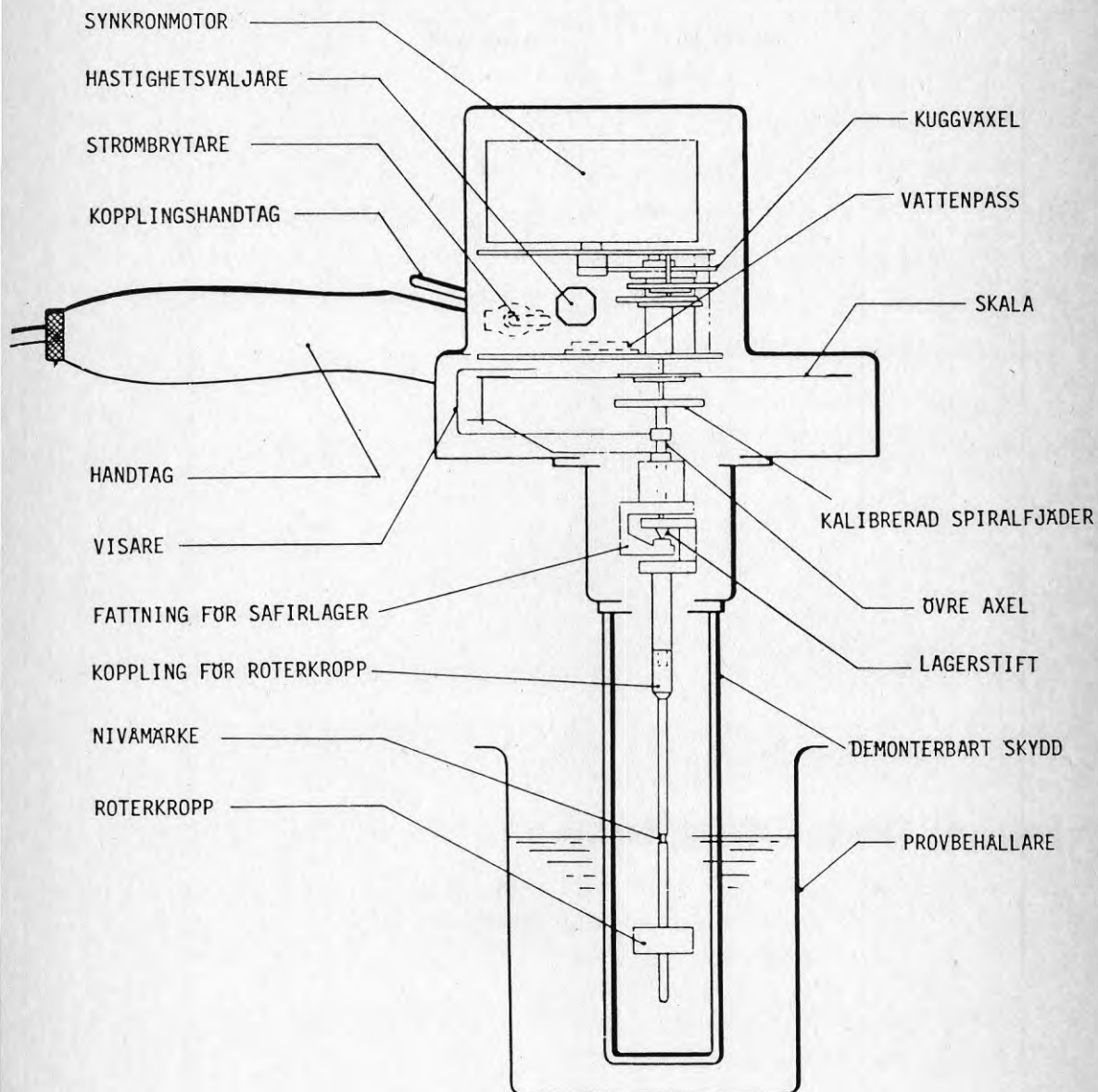


FIG 3.2.1.1. Brookfield-viskosimeter (Principskiss)

K o r t f a t t a d b r u k s a n v i s n i n g

Vid montering av rotationskroppen förs drivspindelns lätt till anslag uppåt, så att drivspindelns spets icke river sönder agatlagret.

OBS! Vänster-gångor.

Mättiden beror av hastigheten, ungefär 20-30 sekunder.

Starta viskosimetern vid lågvarv. 20 eller 12 varv/minut.

Blockera visaren med blockeringsspaken vid start, stopp och alla hastighetsändringar.

Starta aldrig motorn vid högsta hastighet!

Exempel:

Mätning vid 100 varv/minut.

Ställ växelspaken i läge 20 varv/minut.

Blockera visaren med blockeringsspaken.

Starta motorn och koppla om till 100 varv/minut.

Vänta 3 sekunder och släpp blockeringsspaken.

När mätningen utförts blockerar man resultatet genom fixering av visaren med blockeringsspaken.

Med blockeringsspaken nertryckt växlar man ner till ett varvtal, som tillåter att man lätt kan stoppa motorn, när visaren befinner sig i glasrutan.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

Apparaten kalibreras.

Viskositetsbestämning utförs intermittent med en sådan frekvens att förloppen med god säkerhet kan ritas upp. För en timmes geltid bör mätfrekvensen vara 5 minuter.

Provnings utförs vid konstant temperatur $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Tre olika geltider väljs, dels en normalt看 av 1 timme, dels en kort geltid, 15 min. och en lång, 6 timmar. Försöket utförs vid två olika temperaturer, $+5$ och $+20^{\circ}\text{C}$. Vissa preparat tillåter ej fritt val av geltid. I sådana fall provas preparatet med den geltid som anges av leverantör.

För provningen iordningställs satser enligt recept vid den temperatur som skall råda under försöket.

Utvärdering och redovisning

Resultatet redovisas i form av ett viskositet-tidsdiagram enligt FIG. 3.2.1.2.

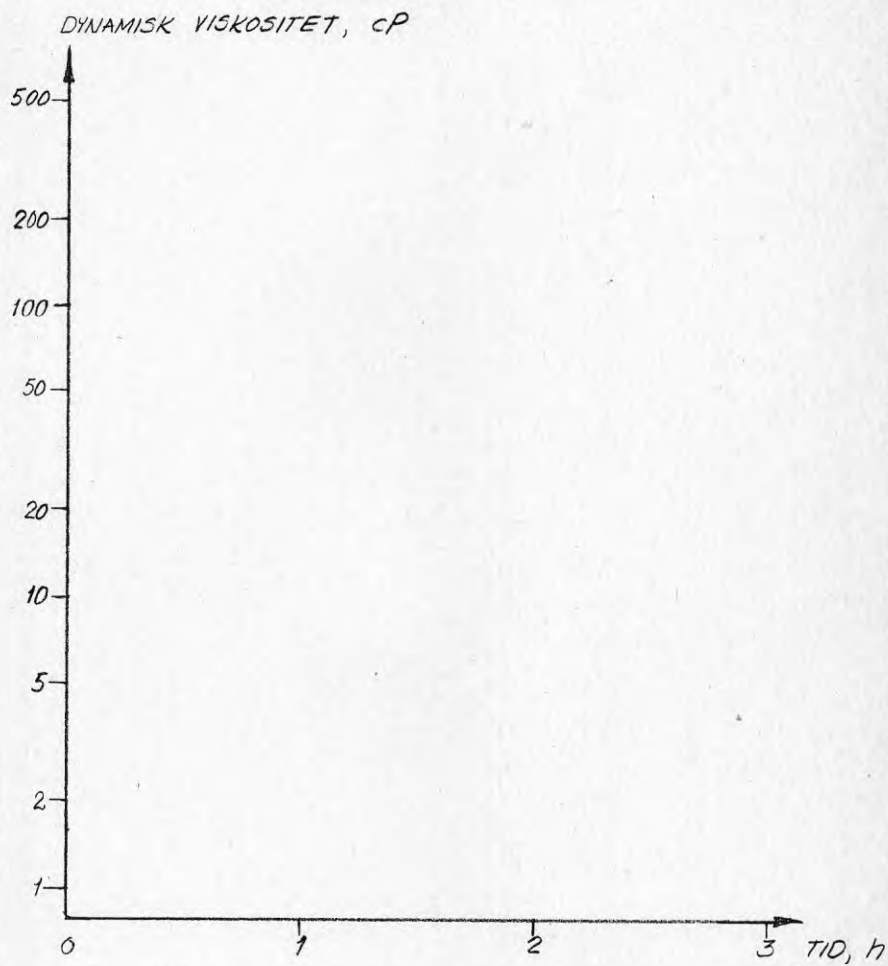


FIG. 3.2.1.2

3.2.2 Viskositetsbestämning, kinematisk

Princip

Metoden ger möjlighet att mäta viskositeten utan omröring. Strömningshastigheten genom ett kort rör ger ett visst mått på den kinematiska viskositeten. Genom jämförelser med viskositetsbestämning enligt 3.1.2 kan eventuell mikrogelbildning och tixotropa egenskaper bestämmas.

Utrustning

Apparaten består av en tratt av rostfri plåt, volym 3,5 liter, som plastbehandlats invändigt och ett graderat mätkärl, se FIG.

3.2.2.1.

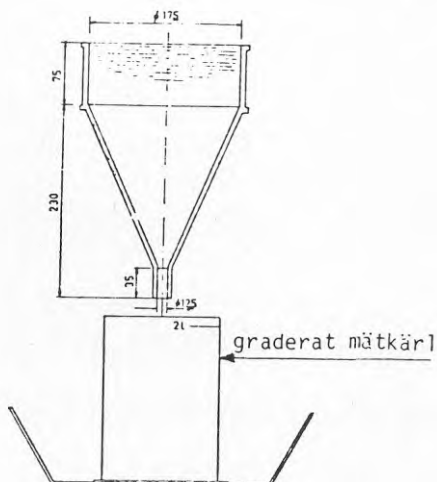


FIG. 3.2.2.1

Tratt av rostfri plåt för mätning av den kinematiska viskositeten genom bestämning av uttrinningstiden för 2 liter injekteringsmedel. Mått i mm. (Enl KBS - 1966, kap 4:92)

Provningsutförande

Tratten (fuktad med vatten) fylls till överkanten med en nyblandad sats av injekteringsmedlet. Härvid hålls bottenhålet stängt. Utrinningstiden (i sekunder) för 2 l av medlet mäts. För tidtagning används stoppur med 0,1 sekunds mätnoggrannhet. När medlet runnit igenom hålls detta åter i behållaren.

Försöket upprepas om möjligt vid minst fem tidpunkter jämnt fördelade under gelningsförloppet. För en timme geltid bör mätfrekvensen vara ca 5 minuter. Vid försöken skall temperaturen hållas konstant $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Provserie enligt kap. 3.2.1.

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Genom kalibrering av apparaten för olika oljor, se kap. 3.2.1, med kända viskositeter kan de uppmätta tiderna omräknas till ett viskositetsvärde. Resultaten redovisas i ett viskositets-tidsdiagram på samma sätt som vid bestämning enligt Brookfield.

3.2.3 Bestämning av gelstyrketillväxt

P r i n c i p

Gelstyrketillväxten (eller härdningsförloppet efter gelning) bestäms genom mätning av gelstyrkan som funktion av tiden. Med gelstyrka menas här det skjuvhållfasthetsvärde som erhålls med hjälp av fallkonförsök.

Det enkla fallkonförsöket är fördelaktigt genom att det går snabbt att utföra och det krävs ringa volym hos provet. Den främsta begränsningen är att enbart "mjuka" material kan undersökas. Med den utrustning och teknik som nedan redovisas bör skjuvhållfastheten vara mindre än 160 kPa.

U t r u s t n i n g

- o Fallkonapparat med fallkoner

10 g	60°	spetsvinkel
60 g	60°	"
100 g	30°	"
400 g	30°	"

Fallkonapparater av olika fabrikat förekommer. Vanligast är typ Geonor, FIG 3.2.3.1.

- o Bägare för provtillverkning, diameter ca 50 mm, höjd ca 70 mm.

Lämpliga plastbägare (engångs-) saluförs i allmänna handeln. Bägare av annat material kan givetvis också användas, enda restriktionen är att materialet skall vara resistent mot injekteringsmedlet.

Antalet bägare beror på hur snabbt gelstyrkan tillväxer samt erfarenheten hos den som gör provet. 40 bägare utgör tillräcklig mängd.

Om bägarna är större än ovan angivits är den enda inverkan att det går åt mer injekteringsmedel.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

Prover i ordningställs enligt följande:

ca 2,5 liter injekteringsmedel tillblandas. 40 bägare fylls med injekteringsmedel. 20 bägare ställs in i kylskåp eller klimatarum, +5°C. 20 bägare förvaras vid +20°C (rumstemperatur).

Försöket utförs vid två olika temperaturer, +5 och +20°C.

Den ungefärliga tiden för uppnående av gelpunkten vid respektive temperatur bör vara känd (exempelvis genom viskositetsförsök enligt föregående avsnitt). För utförande av försöket är det viktigt att en viss hållfasthet uppnåtts, och det är bättre att använda hållfastheten som kriterium för vilken tidpunkt man skall utgå från än den mer svårbestämda gelpunkten.

Försökstiden startar (t_0) när konintrycket med 10 g 60° kon är 5 mm. Skjuvhållfastheten är då 1 kPa.

För bestämning av när konintrycket med 10 g konen är 5 mm kan man använda 7 å 8 av de 20 bägarna. Man får en grov uppfattning om hållfasthetstillväxten genom att se hur lättflytande vätskan är. När vätskan börjar övergå i fast form startas fallkonförsök med 10 g kon. Dessa fortsätts sedan med 1 minuts mellanrum till dess att intrycket är 5 mm (exakt tidpunkt skattas). För material som gellar långsamt kan inledningsvis längre tidsintervall än 1 minut erfordras, eftersom för många bägare annars förbrukas. I princip bör endast ett prov per bägare utföras, men innan hållfastheten uppnått 1 kPa kan man tumma på denna regel.

När tiden t_0 uppnåtts startar tidtagningen. En ny bägare används för varje ny bestämning av konintryck.

Konintrycken bestäms enligt tidsskalan 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1^h, 2^h, 4^h, 8^h, 16^h. För många injekteringsmedel uppnås redan efter kort tid så hög hållfasthet att fallkonförsök ej är möjligt, och då avbryts provningen. Tiden 8^h brukar slopas eftersom den vanligen faller utanför normal arbetstid.

Fallkonförsöket utförs på följande sätt:

En bägare med ostört prov placeras på konapparatusens bottenplatta. Konspetsen bringas att tangera provets yta ungefär i centrum. Vid

inställningen bör man ha belysningen från sidan för att få hjälp av konens skuggbild i snittytan.

Fallkonen lösgörs genom att utlösningssknappen trycks in. Konintrycket avläses på 0,1 mm när och antecknas i protokoll. Använd kontyp anges även.

Konintrycket skall vara mellan 5 och 20 mm. Om intrycket blir utanför dessa gränser görs försöket omedelbart om med närmast tyngre eller lättare kon och nytt prov.

Efter registrering av konintryck höjs konhållaren så att konen lyfts ur provet. Konen rengörs och fastsätts ånyo i konhållarens fäste (om så bedöms erforderligt väljs i stället närmast tyngre kon). Provet kastas.

Det första försöket - 1 minut efter t_0 - kan vanligen utföras med 60 g 60^0 kon. Därefter blir det en bedömningsfråga vilken kon som skall användas. Man har emellertid ledning av den kurva över hållfasthetstillväxten, som uppritas samtidigt (se nedan under redovisning).

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Efter utförande av konförsöket beräknas gelens skjuvhållfasthet enligt följande formel:

$$\tau = K m/i^2$$

där τ = skjuvhållfastheten i kPa
 $K = 10$ för 30^0 spetsvinkel hos konen (m/s^2)
 $= 2,5$ " 60^0 " " " "
 m = konens massa i g
 i = konintryck i mm.

Hållfasthetstillväxten redovisas i halvlogaritmiskt diagram, FIG. 3.2.3.2.

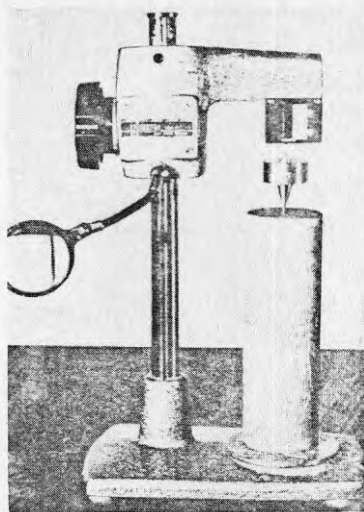


FIG. 3.2.3.1 Fallkonapparat, typ Ceonor.

Det cylindriska provet enligt FIG
utbyts mot prov i plastbägare.

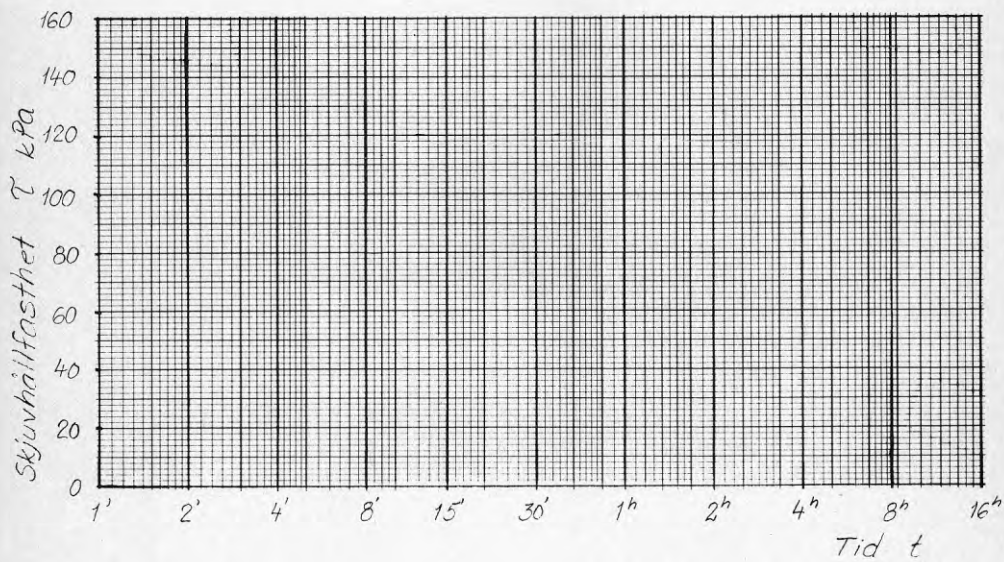


FIG. 3.2.3.2 Diagram för redovisning av gelstyrketillväxten
som funktion av tiden.

3.2.4 Krympning

P r i n c i p

Genom att låta gelning och härdning fortgå under vatten (slutet system) i en pyknometer kan volym- och viktsförändringar av injekteringsmedel och vatten studeras. På detta sätt kan eventuell volymminskning (t.ex. krympning p.g.a. syneres), svällning, vattenlöslighet och osmotiska effekter bestämmas.

U t r u s t n i n g

För försöket erfordras en 200 ml pyknometer, kalibrerad och torr, pipett, destillerat vatten och precisionsvåg.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

Till pyknometern tillförs med pipett 50 ± 1 ml av injekteringsmedlet omedelbart efter dess blandning. Pyknometern (viktbestämd) tillsluts och injekteringsmedlet vägs. Efter gelning en timme (eller till gelpunkten) fylls pyknometern helt med destillerat vatten varefter förnyad vägning sker. Efter gelning/härdning ett dygn hålls vattnet upp i en kolv och vägs. Den kvarvarande produktens vikt bestäms. Efter påfyllning med nytt destillerat vatten kan medlets volym bestämmas. Försöket utförs vid en konstant temperatur av $+20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Om injekteringsmedlet utvecklar värme under gelning/härdning kan pyknometern kylas före volymbestämningsarna om så anses nödvändigt. Pipetten kalibreras med vatten för aktuell temperatur.

Efter 7 dygn hålls åter vattnet av. Volym- och viktsbestämningar enligt ovan görs ånyo.

Försöket utförs med recept för normal geltid, 60 min. För det enskilda projektet kan denna typ av provning även utföras med aktuell grundvatten och med andra geltider.

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Volym- och viktsförändringar av provet efter ett resp. sju dygn beräknas. Dessa uttrycks i procent. Eventuella synliga förändringar, färg etc., noteras.

3.2.5 Sur- och basisk miljö - grundvatten

P r i n c i p

Injekteringsmedlets reaktioner kan påverkas av det grundvatten i vilket gelning/härdning fortgår. Detta undersöks i en basisk och en sur miljö.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

Som bas används en vattenlösning av släckt kalk. Finmalen, släckt kalk rörs ut med destillerat vatten så att mättad lösning kalkvatten erhålls.

Till syra används svavelsyrlighet. Svaveldioxid leds via en slang ned i destillerat vatten tills en mättad lösning fås.

Injekteringsmedel tillrett efter recept, normal 60 min. geltid, hålls upp i två glasbägare, torra, med vardera ca 100 cm^2 tvärsnittsarea. Basen, 100 ml, tillsätts försiktigt över ytan, i den ena bägaren 5 min. efter blandning, i den andra 60 min. efter blandning. Bägarna får stå i ett dygn, varefter ev. påverkan undersöks. Motsvarande försök med syran genomförs. Temperatur, $+20^\circ\text{C}$, hålls konstant $\pm 1^\circ\text{C}$ under hela försöket.

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Omfattning av eventuell utebliven gelning/härdning noteras liksom andra förändringar av det avsedda resultatet. Om så anses vara av intresse kan eventuell påverkan av basisk eller sur miljö bestämmas genom mekanisk provning enligt kap. 3.3 och/eller enligt kap. 3.2.4.

3.3 Mekaniska egenskaper

För berg och betong utförs vissa hållfasthetsprovningar och undersöks deformationsegenskaper. Storleken av dessa mätvärden ger ett begrepp om materialegenskaperna. Även för de material som används för fintätning av berg är det därför naturligt att föreslå vissa hållfasthetsprovningar trots att denna typ av egenskaper ofta inte är avgörande för tätningsfunktionen; dels för att olika material skall kunna jämföras inbördes, dels för att kunna jämföra dessa värden med exempelvis betong. De egenskaper som bör visas framgår av nedanstående.

A l l m ä n e g e n s k a p s p r o v n i n g

- Tryckhållfastheten och elasticitetsmodulen vid enaxiellt tryckförsök bör visas. Detta är av särskilt intresse där injekteringen samtidigt skall ha en konsoliderande funktion.
- Plastiska egenskaper, typ krypning, bör undersökas. Det ger möjlighet till bedömning av stabiliteten hos ett injekteringsmedel som står under visst yttre tryck under lång tid.
- Vidhäftning mot bergytan spelar en betydligt större roll för tätningsfunktionen hos ett injekteringsmedel, jfr även kap 2.5, Beständighet. Vidhäftningen bör därför provas.

P r o v n i n g a r i s a m b a n d m e d p r o j e k t

I vissa fall måste man ställa krav på de mekaniska egenskaperna och för det enskilda projektet kan det därför erfordras omfattande provningar härför. För att kontrollera att injekteringsmedlet erhållit avsedda egenskaper, t.ex. att gelning/hårdning i aktuell miljö gått programenligt, kan även hållfasthetsprovning användas, jfr kap. 3.2.5, Basisk och sur miljö.

Vidhäftningen kan i speciella fall behöva undersökas i samband med ett projekt för andra bergarter etc.

3.3.1 Tryckförsök

P r i n c i p

Kraft - deformationssambandet bestäms med ett enkelt tryckförsök. Vid denna försökstyp utsätts provet för en enaxligt ökande tryckspänning samtidigt som deformationen registreras. Ur last-deformationskurvan och brottutbildningen bör man kunna uttyda om materialet är hårt, sprött, segt o.d.

U t r u s t n i n g

Provformen tillverkas i stål eller likvärdigt material. Sidorna skall vara plana, parallella och lika långa. Dimensioner: kantmått 40 ± 1 mm, längd 80 ± 2 mm. Insidan av formen bör behandlas med släppmedel (fett el.dyl.) för att förhindra fastgjutning av injekteringsmaterialet.

Belastningen påförs i en enaxlig tryckapparat. Påförda laster mäts med en kraftmätare eller med en noggrant kalibrerad manometer. Deformationen mäts lämpligen med mätklockor graderade i 100-dels mm.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

3 + 3 provkroppar tillverkas efter recept. Proverna förvaras stående i en temperatur av $+5^{\circ}\text{C}$. Proverna skyddas mot uttorkning.

Materialet provas om möjligt efter 1 dygn, 3 dygn och 7 dygn. Vid varje tillfälle provas två provkroppar.

Av stor vikt är att ändytorna är vinkelräta mot provets längdaxel. En teflonfilm smörjes med silikonfett och trycks försiktigt fast mot provets ändytor varefter provet placeras på plats. Lasten påförs med jämn och låg hastighet eller i laststeg. Varje laststeg sätts till 5 % av brottlast. Brott eller max.last bör uppnås efter 5-10 min. Försöket fortsättes fram till brott. Om inte brott erhållits vid 16 kN eller vid 10 % deformation, avbryts försöket.

Last - deformationssambandet bestäms.

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Resultatet redovisas i ett kraft - deformationsdiagram. FIG 3.3.1.1

Brottyp noteras.

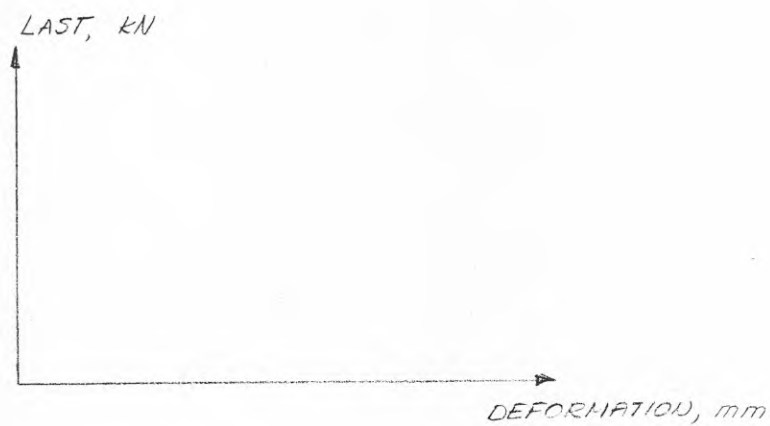


FIG. 3.3.1.1

3.3.2 Kryp-försök

P r i n c i p

Krypegenskaperna bestäms genom tryckförsök med konstant last och registrering av deformationen som funktion av tiden.

U t r u s t n i n g

Enligt kap. 3.3.1, Tryckförsök.

P r o v n i n g s u t f ö r a n d e

3 provkroppar tillverkas. Proverna förvaras stående i en temperatur av $+5^{\circ}\text{C}$. Proverna skyddas mot uttorkning, även under provning.

Materialtesten påbörjas efter 7 dygn. Vid varje provningstillfälle provas en kropp.

Av stor vikt är att ändytorna är vinkelräta mot provets längdaxel. En teflonfilm smörjes med silikonfett och trycks försiktigt fast mot provets ändytor varefter provet placeras på plats.

Lasten påföres i laststeg med begynnelselasten $1/4$ av brottlast: max. 4 kN. Lasten ökas sedan till $1/2$ samt $3/4$ av brottlast, dock max. 8 kN resp. 12 kN. För varje laststeg hålls lasten konstant i 1 dygn eller kortare om krypningen upphör. Deformationen mäts efter 1 minut, 2 minuter, 4 minuter osv. Efter max. last görs en avlastning till noll i 3 steg, av vardera $1/3$ av max.last. För varje avlastningssteg hålls lasten konstant tills ingen hävning registreras.

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Deformations - tidssambandet och kraft - deformationssambandet, redovisas i diagramform. FIG 3.3.2.1.

Kraft - deformationsdiagrammen avser deformationen vid 32 minuter, 256 minuter samt vid 1 dygn.

Ur dessa samband kan materialets elastiska samt plastiska egenskaper utvärderas.

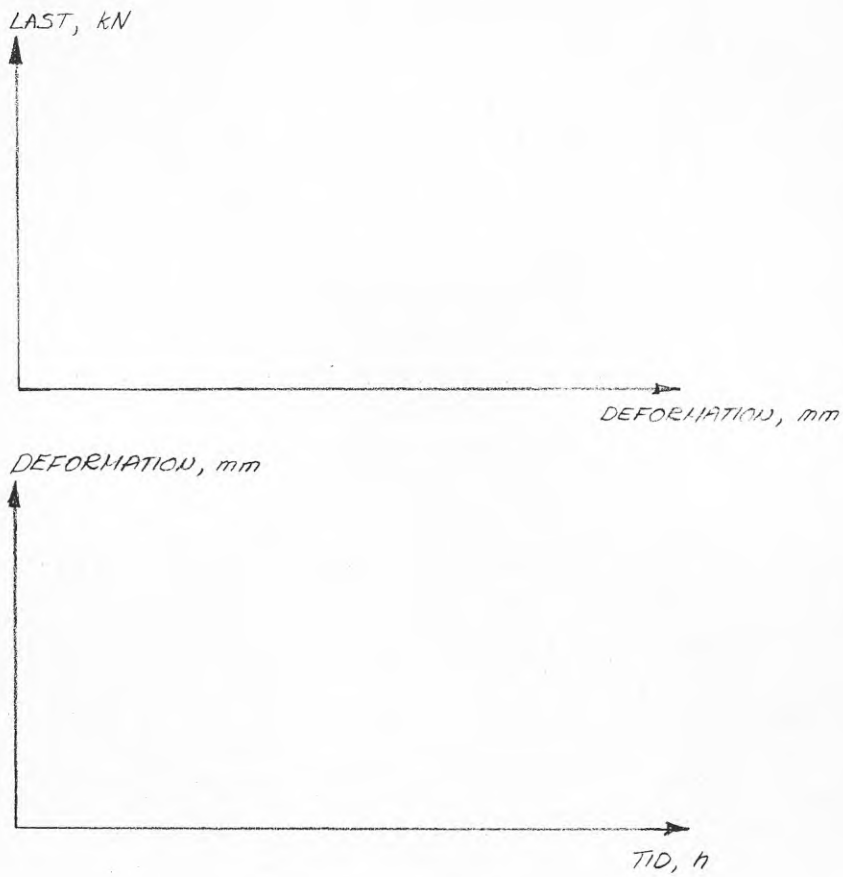


FIG. 3.3.2.1

3.3.3 Vidhäftning

P r i n c i p

Provningsmetoden syftar till att prova materialets vidhäftning mot berg. Vidare registreras typ av vidhäftningsbrott.

Vidhäftningen bestäms medelst ett dragprov, där 2 stenar fastlimmas med ett injekteringsmedel. Medlet appliceras mellan två våta stenar, där spaltbredden mellan bergskivorna väljs till 3 mm.

Vid provdragning utsätts provkroppen för en axiellt riktad dragkraft, vilken successivt ökas till brott, varefter brottlast och vidhäftningsbrott registreras.

U t r u s t n i n g

Vidhäftningsprov utförs på stockholmsgranit; provskivornas ändytor skall ha en viss råhet (sågade med diamantklinga).

Utborrade bergkärnor kapas med diamantklinga. Viktigt är att ändytorna blir vinkelräta mot bergkärnornas längdaxel.

Bergskivornas dimension skall vara $\varnothing 72 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, höjd $72 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$. Andra diametrar kan väljas för provning i enskilda fall, om så bedöms lämpligt.

Ytstrukturen på ändytorna skall vara den som fås vid plansågning med diamantklinga.

Dragbrickor i stål $\varnothing 70 \text{ mm}$. Gummiring för gjutning av provkropp (se FIG. 3.3.3.1) skall vara av "mjuk" kvalitet med en diameter av $\varnothing 65 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ samt en tjocklek av 3 mm.

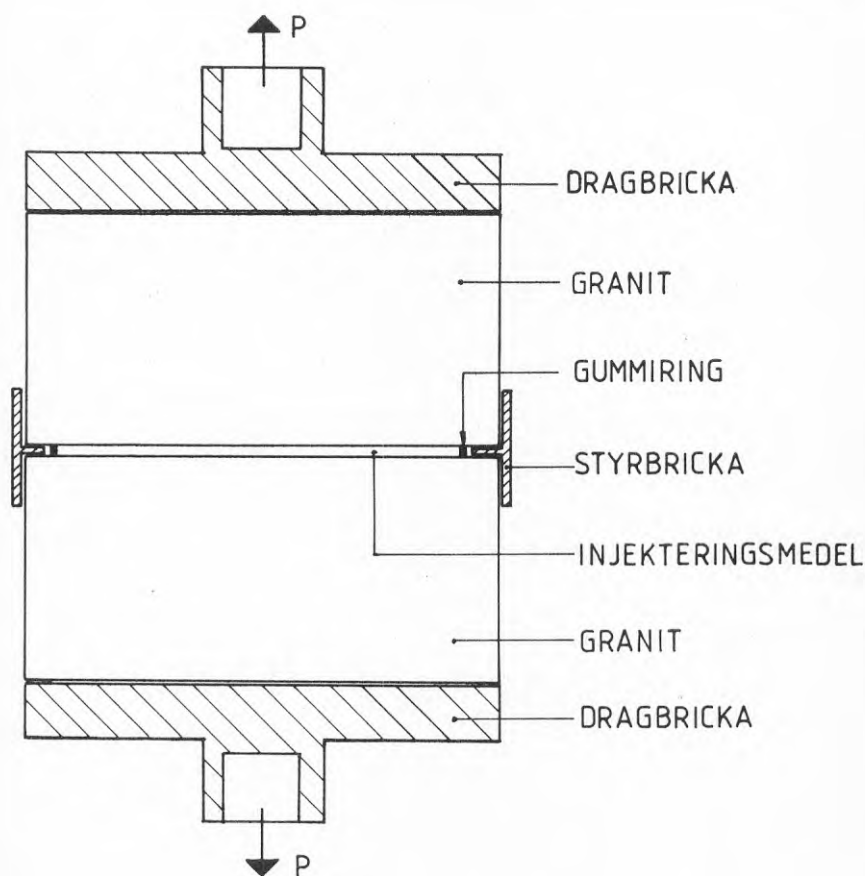


FIG. 3.3.3.1 Utrustning för bestämning av vidhäftning.

Provningsutförande

2 provkroppar tillverkas. Proverna förvaras i vatten med en temperatur av $+5^{\circ}\text{C}$.

Vidhäftningen provas efter 1 dygn och 7 dygn samt eventuellt även efter 5 timmar.

Efter plansågningen monteras dragbrickor på provstenarnas ena ändyta, jfr FIG. Viktigt är att dessa dragbrickor placeras centriskt och vinkelrätt mot längdaxeln. Provstenarna nedsänks i vatten +5°C där de förvaras minst 1 timme.

Bergskivorna sammanlimmas med gummiringen som monteras på "understenen", jfr FIG. Vid montering av gummiringen används styrbitar så att gummiringen placeras centriskt. Därefter fylls utrymmet inom gummiringen med injekteringsmaterial, varefter den övre stenen monteras.

De båda provstenarna måste placeras axiellt ovanför varandra. Det utförs lämpligen med hjälp av en fix.

Vid provningen påförs lasten med en jämn och låg hastighet eller i laststeg.

Brottlast och typ av vidhäftningsbrott registreras.

Olika typer av vidhäftningsbrott:

- Brott: berg - berg
- Brott: berg - injekteringsmaterial
- Brott: berg - dragplatta
- Brott: injekteringsmaterial - injekteringsmaterial

U t v ä r d e r i n g o c h r e d o v i s n i n g

Brottlast och typ av brott anges.

3.4 Beständighet

Provning av beständigheten skulle kunna ske genom att man skaffar sig metoder att mera generellt fastställa den hastighet och det sätt på vilket geler löses upp och förstörs. Med denna kunskap skulle man kunna utveckla allmänna regler och tillämpa dem på en rad injekteringsmedel och förhållanden. Man skulle samtidigt få metoder att bedöma faran för giftverkan. Genom de komplexa förhållanden det här är frågan om torde detta dock vara en lång väg att gå. För närvarande vill vi därför rekommendera mera direkta metoder, som försöker efterlikna aktuella förhållanden.

Några särskilda metoder för provning av beständigheten anges ej i detta kapitel utan kan bedömas utifrån de resultat som erhålls vid provningar beskrivna under bl.a. kap. 3.2, Gelning och härdning. De mekaniska egenskaperna kan även vara vägledande för bedömning av beständigheten. Dessutom lämnas vissa tänkbara förslag till provningar i vissa speciella fall.

A l l m ä n n a e g e n s k a p e r

För att undersöka gelen kan man förvara den i en sluten, stark glasflaska och göra observationer på separation, volymändringar m.m. Provning utförs enligt kap. 3.2.5.

Förvaring i kontakt med vatten kan också ge viktiga upplysningar. Provning utförs enligt kap. 3.2.4.

P r o v n i n g a r i s a m b a n d m e d p r o j e k t

För projektprovning bör man bl.a. undersöka hur omgivande vatten (grundvattnet) påverkar beständigheten. Provningar kan lämpligen utföras enligt kap. 3.2.

Genom att fylla upp hela sandpelaren, visad under kap. 3.1, och ställa denna under ett konstant vattentryck under lång tid kan även beständigheten provas.

En metod som använts av Cambefort och Caron är att använda sig av genomströmning av injekterade massor av sand eller glaskulor vid olika gradienter och partikelstorlek på massan. Det vatten

som läcker igenom analyseras med avseende på silikat och andra lösta salter medan permeabiliteten hos det injekterade provet kontinuerligt följs.

Man kan också tänka sig att låta vatten med lämplig hastighet strömma genom ett hål i en injekterad provkropp (Mattmark).

3.5 Miljöeffekter. Arbetarskydd - miljöskydd

Provningar för att undersöka eventuella miljöeffekter anges ej speciellt i denna rapport men med hjälp av de provningar som föreslås i övrigt, kap. 3., kan man bedöma lämpligheten av olika injekteringsmedel från fall till fall vad avser riskerna för skadliga effekter genom grundvattenföroreningar etc. (yttre miljön). Beträffande såväl miljöskydd som arbetarskydd skall de lagar, bestämmelser och förordningar som utfärdas av myndigheter följas, se kap. 2.5.

För ett antal förekommande injekteringspreparat lämnas under kap. 4.2 vissa indikationer beträffande miljöriskerna.

Beträffande provning av utrustningar etc. se kap. 3.6.

3.6 Speciella krav på injekteringsutrustningar

A l l m ä n e g e n s k a p s p r o v n i n g

Materialen i packningar och slangar kan angripas av vissa komponenter så att hållfastheten starkt nedätts. Val av slangar och packningar skall ske efter samråd med seriösa tillverkare med hänsyn till tryck och använd produkt. Observera att komponenter eller reaktionsprodukter kan skada både gummi-material och armering (t.ex. nylon).

Leverantörer bör kunna visa att material och delkomponenter, slangar, rör, etc. är dimensionerade för aktuella tryck och i övrigt uppfyller myndigheternas krav.

P r o v n i n g a r i s a m b a n d m e d p r o j e k t

Den kompletta injekteringsutrustningen med slangar, rör och kopplingar skall provtryckas med vatten före start av en injektering. Provningstrycket skall härvid vara minst 30 % över högsta använda arbetstryck vid injektering.

4 BESKRIVNING AV OLIKA INJEKTERINGSMEDEL

4.1 Beskrivning av injekteringsmedel ur kemisk synvinkel

Aktuella injekteringsmedel kan indelas i ett antal principiellt olika huvudgrupper:

1. Vattenlösningar av alkalisilikat. Härdaren tillsätts separat.
2. Vattenlösningar av alkalisilikat, där härdaren inblandats redan före injekteringen och utlöser gelning av silikatet under viss tid.
3. Monomerer i vattenlösning, som försatts med härdare, som har förmåga att polymerisera monomeren till ett i vatten olösligt gel.
4. Polymerer i vattenlösning med tillsats av lämplig härdare.
5. Lösningar baserade på ligninderivat och härdare som överför ligninderivatet i en i vatten olöslig gel.
6. I vatten olösliga, lågpolymeriserade polymerer med tillsats av härdare.
7. Lågpolymeriserade vattenolösliga polymerer med tillsats av en eller flera monomerer, som i samband med härdningen binds till polymeren.
8. Vattenolösliga monomerer med tillsats av härdare.
9. Emulsioner av polymerer i vatten som bibringats förmågan att efter viss tid eller i viss miljö övergå i gelat tillstånd.
10. System som vid kontakt med vatten eller i samband med trycksänkning eller på annat sätt övergår från homogent tillstånd till ett av gasblåsor fyllt material.

4.2 Allmänna egenskaper hos några förekommande injekteringsmedel

Nedan redovisas egenskaper hos injekteringsmedel, som använts för bergtätning. Samma indelningsgrund som i avsnitt 4.1 har tillämpats, men en något striktare avgränsning har i allmänhet kunnat göras i rubriceringen av respektive grupp.

Av de tio huvudgrupperna beskrivs åtta. Den gjorda inventeringen har ej givit några exempel på använda preparat, som tillhör grupp åtta eller nio.

Förekommande handelsnamn anges under varje grupp. I en del fall är det möjligt att inom varje grupp åstadkomma olika medel med högst skilda egenskaper.

Vid kostnadsjämförelse har en relativ kostnadsskala använts med cement (=1) som utgångspunkt.

Huvudgrupp 1

Vattenlösningar av alkalisilikat, härdaren tillsätts separat.
(Tvåstegsmetoden)

Processegenskaper:

VISKOSITET: Låg viskositet. Dynamisk viskositet
(Brookfield) 10 - 40 cP vid +20°C.

GELNINGSTID: Gelning sker momentant vid kontakt mellan silikat och härdare. pH-värde ca 12.

Slutegenskaper:

Mekaniska egenskaper: Ett geléartat till hårt material. Tryckhållfasthet 0,1 - 4,0 MPa.

HANTERBARHET: Delmaterialen levereras i flytande form alternativt i pulverform. Vissa delmaterial är frostkänsliga. Det pulverformiga materialet skall skyddas mot fukt. Personal, som handhar material eller färdigt gel, skall ha gummikläder och ögonskydd.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNING: Två pumpar med blandare, en utrustning för basmaterialet, en utrustning för härdaren.

MILJÖRISK: För närvarande ingen miljörisk känd.

KOSTNAD: Relativ kostnad 2 - 5.

ÖVRIGT: Preparaten har använts sedan i början av 1900-talet, framförallt till jordinjektering.

HANDELSNAMN: Joosten, Monosil, Stabilodur J

Huvudgrupp 2

Ett polymeriserande alklaisilikat bestående av tre till fyra komponenter: Alkalisilikat, härdare, accelerator och vatten.

Processegenskaper:

VISKOSITET: Mycket låg viskositet. Dynamisk viskositet (Brookfield) 5 - 100 cP vid +20°C.

GELNINGSTID: Gelningstiden kan varieras från ca 10 minuter till ett par timmar. Fördelaktigt gelningsförlopp (snabb tillväxt mot gelnings- tidens slut). pH-värde ca 12.

Slutegenskaper:

MEKANISKA EGENSKAPER: Det härdade medlet är ett mjukt till hårt gel beroende på sammansättningen. Tryckhållfasthet 0,05 - 2,0 MPa.

HANTERBARHET: Delmaterialen levereras i flytande form. Delmaterialens lagringstid är praktiskt taget obegränsad. Vissa delmaterial är frost-känsliga. Personal, som handhar material eller färdigt gel, skall ha gummikläder och ögonskydd.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNINGAR: Modifierad cementinjekteringsutrustning kan användas. Vid större arbeten kan det vara lönsamt att använda särskild doseringsutrustning eller liknande.

MILJÖRISK: Inom denna grupp finns medel som från miljösynpunkt är helt ofarliga. Dock förekommer i vissa medel härdare, som medför påtaglig miljörisk.

KOSTNAD: Relativ kostnad 3 - 5.

ÖVRIGT: Medlen har använts under flera år. Första kända arbetet i Sverige 1960.

HANDELSNAMN: Durcisol, Formasil, Algonite, Monodur, Siroc, Stabgel och Stabilodur F, Consonda.

Huvudgrupp 3

Blandning av två organiska monomerer: Akrylamid och metylenbisakrylamid.

Processegenskaper:

VISKOSITET: Extremt lågviskös. 3 - 5 cP vid +20°C.

GELNINGSTID: Kan varieras inom mycket vida gränser, några minuter till flera timmar. Fördelaktigt gelningsförlopp. Kan vara svåra att styra. Korta geltider. pH-värde 8,5.

Slutegenskaper:

MEKANISKA EGENSKAPER: Genomskinligt mjukt gel.

HANTERBARHET: Delmaterialen levereras i pulverform. Materialet är starkt hygroskopiskt.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNING: Blandningen innehåller ammoniumpersulfat, som är starkt korrosivt. Blandningsutrustningen måste vara av aluminium eller plast.

MILJÖRISK: I pulverform eller lösning innehåller preparat i denna grupp höga halter acrylamid. Det färdiga gelet innehåller som regel mindre än 1% acrylamid. Det är känt att acrylamid ger skador på centrala nervsystemet. Stor försiktighet och noggranna skyddsanordningar är en förutsättning för användande av injekteringsmedel av denna typ.

KOSTNAD: Relativ kostnad ca 7.

HANDELSNAMN: AM 9, Halliburton PWC.

Huvudgrupp 4

Polymerer, t ex urinämneformaldehyd, med tillsats av lämplig härdare.

Processegenskaper:

VISKOSITET: Mycket låg viskositet (Brookfield) 10 - 100 cP vid +20°C.

GELNINGSTID: Gelningstiden kan variera från 20 minuter till ett par timmar. Utmärkt gelningsförlopp. pH-värde 9.

Slutegenskaper:

MEKANISKA EGENSKAPER: Det färdiga gelet är antingen hårt och sprött med en tryckhållfasthet mellan 1,0-4,0 MPa eller av gummiartad konsistens beroende på delmaterialens sammansättning.

HANTERBARHET: Delmaterialen leveras i såväl flytande form som i pulverform. Delmaterialens lagringstid ca 1 år.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNING: Modifierad cementinjektoringsutrustning med speciell blandare för lösning av pulver.

MILJÖRISK: -

KOSTNAD: Relativ kostnad 8 - 15.

HANDELSNAMN: Geoplast 70, Polytixon 2000, Stabilodur B, Terrasil. Geoseal MQ 4.

Huvudgrupp 5

Detta injekteringsmedel är uppbyggt av lignosulfitlut, som med hjälp av olika härdare och acceleratorer bringas att bilda ett gel. Bl a används natriumbikromat och järnklorid som härdare.

Processegenskaper:

VISKOSITET: Låg viskositet. Dynamisk viskositet (Brookfield)
10 - 50 cP vid +20°C.

GELNINGSTID: Gelnings tiden kan varieras från ca 30 minuter till 24 timmar. Gelningsförloppet är lämpligt (snabb tillväxt mot gelnings tidens slut).

Slutegenskaper:

MEKANISKA EGENSKAPER: Först mjukt och elastiskt, efter hand hårdnande gel. Gelet har en brunaktig till svart färg. pH-värde ca 5. Tryckhållfast 2,0-5,0 MPa.

HANTERBARHET: Delmaterialen förekommer som regel i pulverform, som kräver en noggrann blandning med vatten. Härdare och accelerator kan vara svårslösliga. Delmaterialen är hygroskopiska, vilket kan innebära svårigheter vid förvaring i fuktig miljö. Personal, som handhar delmaterial och gel, skall förses med skyddskläder och ögonskydd.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNING: Förbehandling av delmaterialen kräver förvaringstankar och speciell blandningsutrustning. Förbehandlat delmaterial kan förvaras begränsad tid.

MILJÖRISK: Viss utfällning av oreagerat dikromat förekommer. Med hänsyn till risk för påverkan på ögon och hud bör även personal, som ej direkt deltar i injekteringsarbetet, t ex borrhare, förses med skyddskläder och ögonskydd.

KOSTNAD: Relativ kostnad 4 - 7.

ÖVRIGT: Metoden känd sedan 1920-talet.

HANDELSNAMN: Bloxall, Geoseal, Lignosol, Terra Firma.

Huvudgrupp 6

I vatten olösliga lågpolymeriserade polymerer typ epoxi med tillsats av härdare.

Processegenskaper:

VISKOSITET: Låg viskositet 20 - 200 cP vid +20°C. Låg ytspänning medför hög inträngningsförmåga. Gleningsförlopp 2 - 10 timmar vid +8°C.

Slutegenskaper:

MEKANISKA EGENSKAPER: Det färdiga gelet är ett hårt starkt material med god vidhäftning. Tryckhållfasthet 5,0-50,0 MPa.

HANTERBARHET: Delmaterialen levereras i flytande form. Dessa förvaras i slutna kärl. Det fordras god ventilation samt tvättningsmöjligheter vid arbetsplatsen. Personal, som handhar och/eller kommer i kontakt med delmaterialen, skall ha skyddsglasögon och gummikläder, samt ha utbildats för arbete med epoximaterial enligt lag.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNING: Dosderingspumpar anordnade på så sätt, att personalen inte kommer i kontakt med materialet.

MILJÖRISK: Det är känt att epoxihartser ger allergier. Stor försiktighet och noggranna skyddsanordningar är en förutsättning för användande av injekteringsmedlen av denna typ

KOSTNAD: Relativ kostnad 40 - 60.

HANDELSNAMN: Delorez, Epidian, INP 21, Stabilopox TM 153.

Huvudgrupp 7

Lågpolymeriserade vattenolösliga polymerer med tillsats av monomerer.
T ex polyester och polyuretan.

Processegenskaper:

VISKOSITET: Låg viskositet. Dynamisk viskositet (Brookfield)
60 - 200 cP vid +20°C.

GELNINGSTID - GELNINGSFÖRLOPP: Gelningstid 1 - 8 timmar.
Gelningstiden är lämplig.

Slutegenskaper:

MEKANISKA EGENSKAPER: Färdigt gel har hög elastisk töjbarhet och återtar efter avlastning snabbt sin ursprungliga form. Gelet är köldbästänligt. Tryckhållfasthet 2,0 - 10,0 MPa.

HANTERBARHET: Delmaterialen levereras i flytande form. Materialet kan lagras ända upp till ett år. Vid hantering av materialet gäller samma föreskrifter som för silikatpreparat, dvs personalen skall ha skyddsglasögon och gummikläder.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNING: Specialpump används som regel.

MILJÖRISK: Delmaterialen kan ge upphov till hudskador, allergier och dylikt. Stor försiktighet och noggranna skyddsanordningar är en förutsättning för användande av injekteringsmedel av denna typ. Det färdiga gelet är relativt känsligt för vibrationer. Lämpligt för förinjektering.

KOSTNAD: Relativ kostnad 40 - 50.

HANDELSNAMN: Polytixon.

Huvudgrupp 8 och 9

Några för berginjektering använda preparat ej funna.

Huvudgrupp 10

System som vid kontakt med vatten eller i samband med trycksänkning eller på annat sätt övergår från homogent tillstånd till ett av slutna gasblåsor fyllt material.

Som bas kan användas t ex epoxi eller polyuretan.

Uppskumningen sker genom förgasning av lågkokande vätska t ex Freon eller gas som frigöres genom kemisk reaktion t ex kolsyra som bildas vid reaktion av isocyanat med vatten. Uppskumningen kan ske med tidsfördröjning eller momentant och samtidig stelning och ger då möjlighet till avstängning av snabba vattenflöden.

Processegenskaper:

Viskositet 100 - 1000 cP vid +20°C.

Viskositeten stiger kraftigt i samband med uppskumning. Geltid 1 sekund till flera timmar.

Slutegenskaper:

Mjukt till halvhårt material. Tryckhållfasthet 0,1 - 3 MPa.

HANTERBARHET: Råmaterialen levereras antingen som harts, härdare och skumbildare som blandas på arbetsplatsen eller som förpolymer i färdiga tryckbehållare.

SPECIELLA KRAV PÅ INJEKTERINGSUTRUSTNING: Specieell utrustning med eller utan pump.

MILJÖRISK: Risk för allergier. Särskild utbildning och skyddsutrustning.

KOSTNAD: Relativ kostnad 100. Genom expansion blir dock kostnaden per liter in situ avsevärt lägre - gissning 10.

ÖVRIGT: God vidhäftning

HANDELSNAMN: Isocell.

Metoden är patentskyddad.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
740107-9 från Statens råd för byggnadsforskning
till Stabilator AB, Stockholm.**

R121: 1980

ISBN 91-540-3333-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700221

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms