

# **Råd och anvisningar om återfyllning av energibrunnar**

**Sammanfattning av erfarenheter inhämtade från  
projekt IEA- ECES- Annex 27 "Kvalitetssäkring i  
design, utförande och drift av borrhålssystem"**



**Olof Andersson, Geostrata HB**

**och**

**Signhild Gehlin, Svenskt Geoenergicentrum**

**April 2020**

## Förord

Med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten har Sverige varit ett av elva länder som deltagit i projektet IEA-ECES – Annex 27, "Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems".

Projektledningen har legat hos Tyskland med ZAE Bayern i Garching som ansvarigt företag. För Sverige har Signhild Gehlin, Geoenergicentrum, och Olof Andersson, Geostrata, varit deltagande experter. Även Movitech har deltagit aktivt genom Adib Kalantar. Den Svenska borrarbranschen i sin helhet har deltagit genom att svenska rapporter har remissbehandlats den vägen.

Projektet har varit indelat i fyra olika delområden (Subtasks) enligt följande med ansvariga länder inom parentes.

Subtask 1. Förundersökningar och projektering (Sverige)

Subtask 2. Utförande och konstruktion (Danmark)

Subtask 3. Drift och mätningar (Japan)

Subtask 4. Riskanalyser (Tyskland)

För vart och ett av delområdena finns en delrapport som ingår i annexets slutrapport, och som för de deltagande länderna kommer att finnas på hemsidan för Annex 27. Efter avslutat projekt kommer dessa och andra rapporter även att finnas tillgängliga för nedladdning på (nuvarande) Geoenergicentrums hemsida, <http://geoenergicentrum.se/publikationer-2/>

För Svenskt vidkommande saknar vi en etablerad teknik och praktiska anvisningar för återfyllning av energibrunnar. Vi har därför valt att med den samlade kunskapen från Annex 27 som underlag beskriva hur man gör i de europeiska länderna och överföra detta till svenska förhållanden.

Vi bedömer att det även finns ett behov av mer kunskap om återfyllning hos de kommunala och andra myndigheter som dagligen hanterar frågor om skydd av grundvatten i vårt land.

Vår förhoppning är att dessa råd och anvisningar skall bidra till en saklig och tekniskt väl utförd återfyllning av energibrunnar i de fall detta föreskrivs av myndigheter av olika slag.

Svenskt Geoenergicentrum

Lund

2020-03-20

Johan Barth

VD

## Innehållsförteckning

<a href="#">Begreppsförklaringar</a> .....	4
<a href="#">Bakgrund</a> .....	5
<a href="#">Återfyllning av energibrunnar i utlandet</a> .....	6
<a href="#">Tätningmaterial</a> .....	6
<a href="#">Praktiskt utförande</a> .....	6
<a href="#">Kvalitetskontroll</a> .....	7
<a href="#">Förutsättningarna i Sverige</a> .....	8
<a href="#">Utformning av energibrunnar</a> .....	8
<a href="#">Krav på tätning</a> .....	8
<a href="#">Svensk forskning</a> .....	9
<a href="#">Råd och anvisningar för Sverige</a> .....	10
<a href="#">Anmälan till kommunen</a> .....	10
<a href="#">Fullhålstätning</a> .....	11
<a href="#">Val av återfyllningsmaterial</a> .....	11
<a href="#">Blandningsförfarande</a> .....	12
<a href="#">Kontroll av konsistens och densitet</a> .....	12
<a href="#">Beräkning av återfyllningsmängd (volym)</a> .....	13
<a href="#">Härddningstid</a> .....	14
<a href="#">Injekteringens utförande</a> .....	15
<a href="#">Partiell tätning</a> .....	17
<a href="#">Krav och tillämpningar</a> .....	17
<a href="#">Bentonitpellets på stödplatta</a> .....	18
<a href="#">Manschetter med svällande gummi</a> .....	19
<a href="#">Kombinationer</a> .....	19
<a href="#">Utförande</a> .....	20
<a href="#">Kvalitetskontroll</a> .....	21
<a href="#">Täthetskontroll av återfyllning</a> .....	21
<a href="#">Provtryckning av kollektorer i återfyllda brunnar</a> .....	21
<a href="#">Tryckfallsmätning</a> .....	22
<a href="#">Kontroll av kapseltäthet</a> .....	23
<a href="#">Täthetskontroll av partiell återfyllning</a> .....	24
<a href="#">Referenser</a> .....	25

## Begreppsförklaringar

<b>Kollektor</b>	Plaströrskonstruktion som tar upp/avger termisk energi
<b>Bar</b>	Tryck, där 1 bar motsvarar lufttrycket vid havsnivå
<b>Bentonit</b>	Naturligt lermineral, bildat av vittrad vulkanaska
<b>Bergvärme</b>	System för uttag av värme med kollektorförsedd energibrunn
<b>Borrhålslager</b>	Som bergvärme men med uttag/lagring av både värme och kyla
<b>DN</b>	Standarddimension för plaströr. Anger yttre diameter (mm)
<b>Energibrunn</b>	Borrard brunn som används för uttag eller lagring av termisk energi.
<b>Foderrör</b>	Stålrör som borrar ned genom jordlager och övre del av berget
<b>Funnel Viscosity</b>	Viskositet, mätt som tid för en liter vatten att rinna ur en speciell tratt (sek)
<b>Geoenergi</b>	Samlingsterm för energisystem som använder undermarken som energikälla
<b>IEA-ECES</b>	Internationell organisation för forskning och utveckling av lagringssystem
<b>kPa</b>	SI-mått för tryck i vätskor och gaser (10 kPa = 1 mVp = 0,1 bar )
<b>Köldbärare</b>	Vätska, vanligen bestående av vatten med etanol som frysskydd
<b>Manometer</b>	Tryckmätare ansluten på ett rör. Trycket visas i Bar och kPa
<b>Manschett</b>	Betecknar allmänt en anordning som kan tillsluta en del av ett borrhål
<b>mVp</b>	Tryck som angivet som meter vattenpelare (1 mVp = 0,1 bar = 10 kPa)
<b>Normbrunn</b>	Anvisningar för vatten- och energibrunnar till skydd av grundvatten
<b>PE</b>	Plastmaterial bestående av polyeten. Finns i olika hårdhetsklasser.
<b>Permeabilitet</b>	Ett materials förmåga att släppa igenom vatten (m/s)
<b>PN</b>	Tryckklass för rör. Anger högsta tillåtna inre tryck, så kallat sprängtryck (bar)
<b>SDR</b>	Tryckklass definierat som kvoten mellan ytterdiameter och väggtjocklek
<b>Svenskt Geoenergicentrum</b>	Svensk organisation för kunskapsspridning och information
<b>Tryckfall</b>	Anger friktionsförluster vid flöde genom rör (kPa eller mVp)
<b>Tryckklass</b>	Betecknar ett rörs invändiga sprängtryck. Se även PN och SDR
<b>U-rör</b>	Ett annat namn för kollektor med två rör sammanlänkade med en u-böj
<b>Viskositet</b>	Avser här dynamisk viskositet som betecknar en vätskas flödeströghet (Pa·s)
<b>Värmeledning</b>	Ett materials förmåga att leda värme (W/m och grad K)
<b>Återfyllning</b>	Kan avse både metodik för tätning i en energibrunn med kollektor, och det tätande materialet i sig
<b>Öppet hål</b>	Del av borrhål som har direkt kontakt mot berget

## Bakgrund

Sverige är det land i världen som har flest energibrunnar räknat per capita, och där vi värmer bostäder och lokaler med stor andel geoenergi. Det handlar om ca 23 TWh värme som produceras av drygt en halv miljon anläggningar. Härtill kommer ca 1 TWh frikyla (Gehlin och Andersson 2019).

Då och då kommer det krav från kommunernas miljönämnder att energibrunnar för bergvärme och borrhålslager för värme och kyla skall vara återfyllda med ett tätande material till skydd för grundvattnet i jord och berg.

Det nationella ansvaret för skydd av grundvatten ligger på Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) som för ändamålet utarbetat Normbrunn 16. Detta är det dokument som myndigheterna hänvisar till då man ställer krav på tätning av energibrunnar.

I den mån en geoenergianläggning har en värmepump är en anmälan till kommunen lagstadgad. Anmälan har dock utvecklats till att bli en form av tillståndsansökan där också värmekällan ingår i prövningen. Inte sällan ställs därför specifika krav på brunnskonstruktionen i beslutet, vilka i vissa fall innebär krav på tätning av borrhålet ibland i hela sin längd, i andra fall kanske bara delvis.

I Sverige, Norge och Finland har sedan länge öppna borrhål som självfylls med grundvatten varit standardutförande. Detta utförande är både kostnads- och installationsmässigt fördelaktigt jämfört med ett återfyllt borrhål. Krav på tätning i en eller annan form är dock motiverat i de fall det finns risk för att grundvattnet förorenas eller att vatten från två eller flera grundvattenmagasin blandas med varandra. Härtill finns rekommendationer om tillstånd för anläggning av energibrunnar inom sekundär skyddszon för grundvattentäkter (NVF 2003:16). I praktiken leder detta ofta till krav om tätning i ett beslutsförläggande.

Med start 2016 har Sverige deltagit i ett internationellt projekt benämnt IEA ECES Annex 27 – Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems, vilket bland annat har resulterat i riktlinjer för tätning av energiborrhål. Annexet har letts av Tyskland, och förutom Sverige har Kanada, Japan, Kina, Sydkorea, Turkiet, Belgien, Danmark, Finland och Nederländerna medverkat aktivt med experter och erfarenheter. Annexet avslutades officiellt 2019-12-31, och rapporterna kommer att publiceras under 2020.

Sverige har ansvarat för att ta fram riktlinjer för hur förundersökningar och projekteringsarbetet på bästa sätt bör genomföras, med beskrivningar och rekommendationer, vilket utgjort Subtask 1 i projektprogrammet. Delrapporten finns publicerad på Geoenergicentrums hemsida varifrån den kan laddas ner (Gehlin och Andersson 2018).

En annan svensk rapport som redan finns tillgänglig för nedladdning på hemsidan är en nulägesbeskrivning (State of the Art) över svensk teknik för energibrunnar (Andersson och Gehlin 2018). I denna beskrivs hela händelsekedjan från planering till färdig anläggning. Rapporten bidrar med svensk kunskap till samtliga delområden, men i brist på svenska erfarenheter saknas detaljerade beskrivningar för återfyllning av energibrunnar.

Målet med föreliggande råd och anvisningar är att informera om hur man utför återfyllningar i andra länder och med detta som grund beskriva hur återfyllningar och andra former av tätningar lämpligen bör utföras i Sverige.

Avsikten är också att dessa råd och anvisningar skall utgöra en saklig vägledning för de myndigheter som har att fatta beslut om återfyllning och vilka krav som då skall ställas.

## Återfyllning av energibrunnar i utlandet

### Tätningmaterial

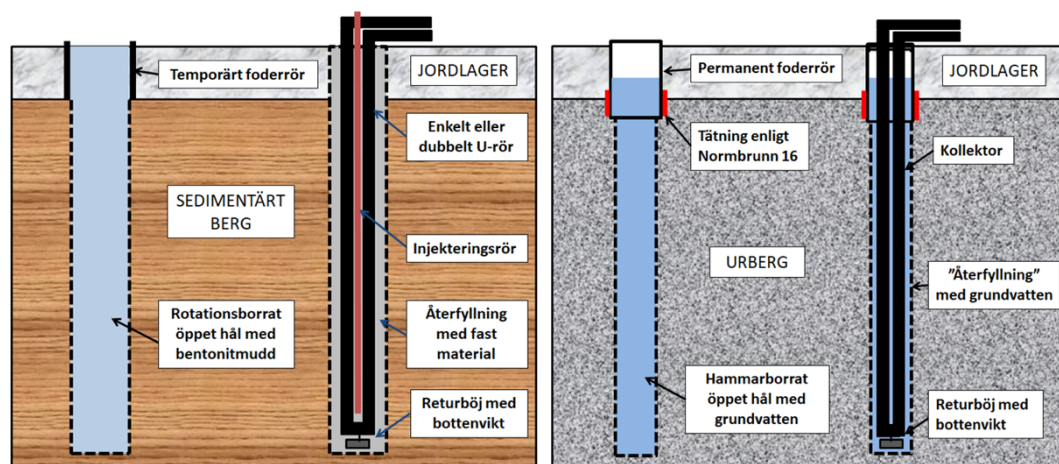
I Tyskland och flertalet andra europeiska länder med i huvudsak sedimentär berggrund och andra grundvattenförhållanden är en fullständig återfyllning av energibrunnarna obligatorisk. I Tyskland finns en vägledande föreskrift om återfyllning av energibrunnar, VDI 4640. I engelsk översättning har VDI bildat underlag även för andra länders normer och föreskrifter, som exempelvis Kanada, Storbritannien och Danmark.

Riktlinjerna i VDI 4640 är framställda med tanke på att borrhålen normalt sett är 100 m eller grundare. Liksom i Normbrunn 16 finns ett uttalat krav på att tätningmaterialet skall vara tätt. Däremot anges ingen siffra på hur tätt. Underhand har därför en myndighetspraxis utvecklats där permeabilitet lägre än  $10^{-9}$  m/s vanligen tillämpas. Detta motsvarar genomsläppligheten genom en väl packad sedimentär lera.

Något speciellt krav på återfyllningens termiska värmeledning anges inte heller. Däremot har marknaden själv tagit fram cementblandningar med olika tillsatser. Dessa består främst av finkornig kvartssand, som ger cementblandningen ett värmeledningstal som ofta ligger runt 2 W/m, K. I något fall förekommer även grafit som tillsats för att stärka värmeledningen. För att blandningarna inte skall krympa när de hårdnar används bentonit. Det är emellertid inte alltid som den exakta sammansättningen redovisas i leverantörernas produktblad.

### Praktiskt utförande

Figur 1 illustrerar hur en utländsk energibrunn med fullhålsåterfyllning principiellt ser ut. Först borras hålet. Sedan sätts U-röret tillsammans med en extra slang (injekteringsrör). Genom detta rör återfylls slutligen hålet från botten och uppåt. En typisk svensk energibrunn visas som jämförelse (gäller även i Finland och Norge).



Figur 1. Principutförande för fullhålstätning i utlandet (vänster) jämfört med en typisk nordisk energibrunn som är fylld med grundvatten (höger) (Figur: Geostrata).

Dominerande bormetod i utlandet är rotationsborrning med direktspolning. Vanligtvis är håldjupet mindre än 100 m och dimensionen ofta runt 150 mm. Genom jordlager används ett temporärt foderrör, som återvinns efter återfyllningen. Som spolmedel används vatten, men oftast med tillsats av bentonit för att stabilisera hålväggen. Även hammarborrning förekommer men då i områden med fastare berg. Andra bormetoder är skruvborrning (Auger) och sonic-borrning (vibrationsborrning), men dessa är mindre vanliga och platsspecifika (Uhde 2010).

I Sverige, där vi till största delen har kristallint berg, är energibrunnarna betydligt djupare och borrade i mindre dimension (115 mm). Dessutom har borrhålen permanenta foderrör genom jordlagren som gjuts fast för att förhindra att ytligt vatten når ner i berget, se figuren. Energibrunnen är fylld med grundvatten, och kollektorn monteras i det grundvattenfyllda borrhålet.

U-rören i utlandet är samma som i Sverige, men har högre tryckklass (PN16) för att tåla det externa trycket från återfyllningen. För att förhindra att slangarna trycks ihop trycks slangarna i samband med återfyllningsprocessen. Mottrycket hålls kvar till dess cementen börjat hårdna. Injekteringsröret, vanligen en PE-slang, lämnas antingen kvar i hålet efter injekteringen eller dras upp successivt medan hålet återfylls. I Belgien är det senare förfarandet obligatoriskt. Ett kvarlämnat rör kan fungera som distans mellan nedåt- och uppåtgående kollektorslang. Detta anses förbättra kollektorns termiska effektivitet (Eugster 2011a).

Utomlands tillreds cementblandningen i ett kärl med mixer och pumpas direkt ner i hålet utan uppehåll. På en manometer ser man hur mottrycket succesivt ökar. Man pumpar blandningen till dess hålet börjar flöda över med cement. När väl hålet är fyllt dras det temporära foderröret upp, vilket vanligen leder till att cementnivån sjunker en bit och en efterfyllning får göras. Hålet måste sedan stå ostört under den tid det tar för cementen att sätta sig och börja hårdna.

### **Kvalitetskontroll**

I Tyskland har ett mindre antal uppmärksammade skadehändelser inträffat under åren 2007-2011. Dessa har kunnat kopplas till komplicerade geohydrologiska förhållanden i kombination med att återfyllningen med cement inte blivit tillräckligt tät. De ekonomiska konsekvenserna av dessa otäta borrhål har i dessa fall blivit omfattande. Därtill ledde dessa händelser till att geoenergins rykte blev skamfilat i Tyskland, vilket fick marknaden att tillfälligt vika (Fleuchaus och Blum, 2017).

Händelserna ledde till att man i Tyskland startade omfattande forskning och utveckling där man noggrant undersöker olika material och deras injekterbarhet. Resultaten har ännu så länge inte publicerats, men forskarna har presenterat preliminära resultat under de åtta expertmöten som hållits inom ramen för Annex 27.

Det saknas alltså idag en metodik för hur man skall kvalitetssäkra själva tätningen. I avvaktan på teknik för att testa återfyllningen får man istället förlita sig på kvalificerat utförande. Vad som däremot kontrolleras är tätheten på de ingjutna kollektorerna. Hur detta i detalj ska gå till är inte föreskrivet i den tyska normen, men väl i den Schweiziska (SIA 2011). Testet utförs tämligen direkt efter det att återfyllningen avslutats, och bygger på teorin att återfyllningen börjar "sätta sig" (sedimentera) så snart pumpningen upphör. Detta gör att mottrycket i kollektorslangarna minskar (Eugster 2011 a).

Först höjer man snabbt trycket i kollektorerna till ca 70 % av aktuell tryckklass (PN16) och låter på så vis kollektorslangarna börja expandera. Härefter låter man slangarna stå 60 min. Trycket i slangarna sjunker då på grund av ytterligare expansion. Det är först nu det riktiga trycktestet påbörjas genom att först sänka trycket med 1-2 bar. Detta medför att slangarna kryper något för att sedan plana ut och ligga kvar på ett slutligt tryck. Skulle inte detta tryck hållas och efter 30 min ha sjunkit mer än 0,1 bar betraktas kollektorn som otät.

Liknande testmetoder med mindre variationer används också i de andra kontinentala länderna, inklusive England. I de flesta länderna väljer man dock att fylla kollektorn med köldbärare och avlufta denna efter första fasen. Dessutom pågår vanligen sluttestet i 60 min. En vanlig praxis är att avvakta 0,5-1 dygn så att återfyllningen fått en fastare konsistens, något som förenklar testet och minimerar risken för klämning av slangarna. (Uhde 2010).

I kvalitetskontrollen ingår även en flödeskontroll, ofta med mätning av tryckfallet vid ett bestämt flöde. Skälet till detta är främst att försäkra sig om att slangarna inte klämts ihop. Andra skäl är att få underlag till injustering av brunnsflöden i ett större system samt för dimensionering av cirkulationspump (Eugster 2011 a).

## Förutsättningarna i Sverige

### Utformning av energibrunnar

En betydelsefull skillnad jämfört med de kontinentala länderna är att brunnarna i Sverige borras med permanent foderrör genom jordlagren och minst två meter ned i fast berg enligt kraven i Normbrunn 16. Detsamma gäller för övrigt också i Finland och Norge.

I övergången mellan berg och jordlager tätas brunnarna så att ett skydd av det djupa grundvattnet erhålls. Det svenska och nordiska sättet att utföra energibrunnar framgår av tidigare Figur 1.

Till skillnad från de kontinentala länderna är det vanligt att borra riktigt djupa energibrunnar i Norden, numera ofta 250-300 m eller mer. Detta är ibland nödvändigt i urbana områden med brist på ytor för brunnarna. Det beror också på att hammarborrning i urberg är mycket effektivt och förhållandevis billigt jämfört med spolborrning. Det är därför ekonomiskt fördelaktigt att göra färre men djupare hål.

Beroende på begränsade ytor för borring måste man ofta vinkla borrhålen för att tillräckligt medelavstånd mellan hålen skall kunna erhållas, något som sällan förekommer i de kontinentala länderna.

### Krav på tätning

I de nordiska länderna, exklusive Danmark, finns inget generellt krav på återfyllning med ett tätande material. Standardutförandet innebär att kollektorslangarna monteras i borrhålet där grundvattnet omsluter slangarna och skapar termisk kontakt med berget. Konvektionsrörelser i grundvattnet bidrar till en god värmeöverföring mellan värmebärare och berg. I vissa fall ställs dock krav på tätning av energibrunnar genom återfyllning. De krav som ställs görs av den myndighet som har att bedöma den anmälan som förgår anläggandet av en energibrunn.

Nuvarande norm (Normbrunn 16) anger följande vad avser tätning genom fullhålsåterfyllning.

- Återfyllningen skall ha tillräckligt tätande egenskaper i förhållande till den aktuella geologiska miljön,
- Återfyllningen skall göras via injektering från botten och uppåt tills hålet är helt fyllt,
- Kollektorslangarna skall dimensioneras för att tåla yttre tryck från återfyllningen,
- Återfyllningen skall tåla frysning utan att skada kollektorn och utan att tappa sin tätande förmåga.

Normen anger även riktlinjer för vad som kan kallas partiell tätning (del av borrhålet). Normen utgår från tätning mot saltvattenuppträngning och anger en längd av minst 10 m.

I normen nämns däremot inget om vilken typ av tätningsmaterial som skall användas och appliceras, inte heller om vilket täthetskrav som skall uppfyllas eller hur återfyllningens täthet och placering skall kontrolleras.



## Svensk forskning

I Helsingborg infördes ett generellt krav på återfyllning i början 2000-talet. Inledningsvis utfördes sådan tätning med bentonitlurry (bentonit blandat med vatten) och senare med bentonitpellets. Bentonitfyllnaden gjorde att energibrunnarna fick lägre effektivitet och inledningsvis gjordes befintliga brunnar som omfattades av kravet djupare för att kompensera för den sämre termiska effektiviteten efter återfyllning. Detta var bakgrunden till ett projekt där man provade med att återfylla hålen med stenmjöl som är en restprodukt från stenbrott (Leskelä 2012). Dessa försök visade på stora svårigheter att få ner stenmjölet i borrhålet och att det dessutom inte blir särskilt tätt. Slutsatsen blev att stenmjöl inte är användbart.

Ungefär samtidigt gjordes en omfattande analys av den återfyllningsteknik och det material som används i utlandet (Hjulström 2012). I denna studie drogs en rad slutsatser, bland annat följande.

- Bentonitbaserade material har en dålig motståndskraft mot uttorkning som orsakar stora volymförluster och försämring av dess termiska konduktivitet. Inga definitiva slutsatser har kunnat dras angående reaktion på nedfrysning och salt grundvatten.
- Enbart cement har bättre värmeledning men krymper vid härdning och sprickbildning kan uppstå vid frystemperaturer. Luftporbildande ämnen kan tillsättas för ökad frystålighet, men då minskar värmeledningen.
- Cementbaserade blandningar (stela) med bentonit och värmeledningsförhöjande ämnen i vissa proportioner är lämpliga för återfyllning. Fyllningen tål i regel både frysning och saltvatten. Typ av ämnen och proportionerna mellan dessa samt i synnerhet vattenhalten är avgörande för funktionen
- Bentonitbaserade blandningar (plastiska) är att föredra ur ett tätningsperspektiv i grundvattenfyllda borrhål förutsatt att fyllningen inte skadas av temperaturer under fryspunkt eller förekomst av salt grundvatten

Det har även gjorts fältförsök med en så kallad kapselinklädnad. Denna innebär att hela borrhålet tätas hydrauliskt med ett plastmembran. Plastmembranet fylls helt upp med vatten varvid ett övertryck bildas inne i kapseln. Övertrycket pressar ut membranet mot hålväggen varvid en tätande funktion uppnås.

Två kontrollerade tätningsförsök utfördes 2010, ett i Vallentuna i ett 100 m djupt borrhål i urberg, och ett i en 120 m djup energibrunn borrhål i sedimentärt berg i Helsingborg.

Vid försöket i Vallentuna mättes tätheten med hjälp av en mätbrunn med hydraulisk förbindelse med provbrunnen. Resultaten visade att kapseln var helt tät (Andersson 2010 a).

Vid försöket i Helsingborg var upplägget att kontrollera kapselns tätande förmåga mellan två sandstensformationer vilka har olika trycknivåer (skillnad ca 5 mVp). Även här visade sig kapseln täta borrhålet så att inget vatten strömmade mellan de två sandstenarna (Andersson 2010 b).

Efter att försöket var färdigt togs kapseln med tryckgivare upp och ersattes med en ny kapsel till fullt håldjup. I den nya kapseln har därefter övertrycket i kapseln mätts under en 10-årsperiod. Dessa långtidsmätningar har visat att kapseln förblivit intakt (Andersson 2019).

För närvarande finns inte kapseln att tillgå på marknaden, men omnämns här beroende på att denna typ av produkt kan komma att återintroduceras längre fram i tiden.

## Råd och anvisningar för Sverige

### Anmälan till kommunen

På respektive kommuns hemsida finns färdiga blanketter för anmälan om värmepumpsprojekt. Dessa ser lite olika ut, men i grunden handlar det om att kommunens miljökontor skall få ett fullgott underlag till prövning enligt gällande miljö- och hälsolagstiftning.

Miljökontoret har rätt att föreskriva tätningsvillkor i de fall energibrunnarna riskerar skada miljön eller människors hälsa samt till skydd av grundvatten. Man kravställer ofta också att arbetet skall utföras av certifierad borrhörpersonal. I och med villkoren kan beslutet från kommunen betraktas som ett tillstånd där villkoren måste efterföljas. Vanligen föreskrivs också att energibrunnarna skall utföras i enlighet med gällande Normbrunn.

En föreskriven tätning skall vara sakligt motiverad och ha stöd i lagen. Om så inte är fallet eller om åtgärdens motiv kan ifrågasättas finns möjlighet att överklaga ärendet. Som ett alternativ till överklagande kan det vara en god idé att kontakta den aktuella handläggaren och med sakliga argument få villkoren diskuterade och omprövade.

Beroende på om energibrunnar skall göras i kristallint urberg eller i sedimentärt berg så är de geologiska och hydrogeologiska förhållandena avgörande för vilken form av tätning som är tekniskt och kvalitetsmässigt gångbar.

Information om övergripande geologiska förutsättningar finns lättillgängliga via SGU:s hemsida där bl. a. brunnsarkivet finns att tillgå. Även kartor som beskriver jord- och bergarter samt grundvattenmagasin och en rad andra uppgifter av betydelse finns tillgängliga på hemsidan. (<http://apps.sgu.se/kartgenerator/> och <https://apps.sgu.se/kartvisare/>).

Inför större projekt kan en eller flera undersökningsborrningar bidra till att kartlägga de lokala förutsättningarna på ett bättre sätt och ligga till grund för en saklig diskussion med myndigheten. Rekommendationen är därför att utföra undersökningshålen innan anmälan till miljökontoret och att resultaten av dessa ingår som bilaga till anmälan. Följande dokumentation bör upprättas och redovisas i anmälan.

- Lagerföljdsbeskrivning
- Förekomst av vattenförande sprickor eller lager
- Blåskapacitet på olika djup (då tillkommande vattenföring påträffas)
- Konduktivitetmätningar på uppfordrat vatten (vid varje stångbyte)
- Vilande grundvattennivå (-er)

Dokumentationen ska kunna bilda underlag för val av anpassad tätningsmetod. Det finns till exempel inget sakligt skäl till att återfylla ett helt borrhål om bara en enda sprickzon med salt vatten påträffas på stort djup i ett borrhål i urberg.

Det finns inte heller något behov av fullhålstätning om vattnet i sprickzonen inte är salt, men är av en annan beskaffenhet än vattnet i en högre liggande sprickzon med risk för kortslutning. Inte heller om någon av sprickzonerna är artesisk med de risker detta innebär.

I många fall är det således inte sakligt motiverat med fullhålstätning eftersom ett flöde genom borrhålen går att undvika med tätande pluggar på betydligt enklare sätt. Detta är något som i vart enskilt fall måste diskuteras med den myndighet som hanterar ärendet.

## Fullhålstätning

### Val av återfyllningsmaterial

På den kontinentala marknaden finns idag ett antal produkter som regelbundet används för återfyllning av energibrunnarna, se tabell 1. Flertalet av dessa finns tillgängliga på den svenska marknaden. Uppgifter om tekniska parametrar är hämtade från respektive leverantörers produktblad, se referenserna längst bak.

Tabell 1. Europeiska produkter för borrhålstätning (C) = cementbaserat (B) = Bentonitbaserat.

Produktnamn	Densitet (kg/l)	Värmeledning (W/m K)	Permeabilitet (m/s)	Tillverkare
Calidutherm ÖKO (C) <sup>x)</sup>	1,65	2,0	$3 \times 10^{-10}$	Terra Calidus
DantoCon T 200 (C) <sup>x)</sup>	1,78	2,2	$1 \times 10^{-10}$	Dantonit AS
Fuellbinder Plus (C) <sup>x)</sup>	1,94	2,0	$5 \times 10^{-11}$	Schwenk Zement
Geosolid 240 HS (C) <sup>x)</sup>	1,90	2,4	$1 \times 10^{-9}$	Fischer SBS
GWEGeotherm 2.0 (C)	1,46	2,0	$5 \times 10^{-10}$	SBF- Augusta
MuoviTerm (C)	1,65	2,0	$1,4 \times 10^{-10}$	Muovitec
ThermoCem Plus (C) <sup>x)</sup>	1,46	2,0	$1 \times 10^{-10}$	Heidelberg Cement
2Seal Thermal (B)	1,70	>2,0	$1 \times 10^{-10}$	2 Flow

<sup>x)</sup> Fabrikatet finns med på den så kallade "Hamburglistan" (Produktliste A)

Praktiskt taget alla är termiskt förstärkta cementblandningar som härdar (hårdnar) när de väl kommit på plats. Cementblandningen levereras normalt i säck med 25 kg och blandas med vatten till en lämplig densitet och konsistens.

Några av produkterna består av bentonitpulver som är termiskt förstärkt med kvartssand. Även dessa blandas med vatten och pumpas ner i hålet. En bentonitbaserad återfyllning härdar inte men blir tämligen fast. Den förblir dock plastisk så länge vattenhalten bevaras. Det skall noteras att en frysning gör att bentoniten konsoliderar och att det vatten som då frigörs förhöjer det termiska motståndet (borrhålmotståndet)

De vanligast förekommande fabrikaten har ställts samman i tabell 1. Flertalet av dessa finns tillgängliga på den svenska marknaden. Uppgifter om tekniska parametrar är hämtade från respektive leverantörers produktblad.

En klar fördel är om produkten innehåller tillsatser med syfte att öka värmeledningsförmågan i återfyllningen, så att värmeöverföringen blir jämförbar med ett grundvattenfyllt borrhål. Detta innebär att produkten ska ha en termisk konduktivitet som ligger runt 2 W/m K. I annat fall behöver borrhålsdjupet korrigeras för att kompensera för den lägre värmeledningen i borrhålet. Energibrunnen måste med andra ord borrar djupare.

På marknaden finns tillsatsprodukter som innehåller olika kemikalier för att exempelvis få en snabbare härdning eller en högre värmeledning. Potentiellt kan vissa tillsatsprodukter vara skadliga för grundvattnet. Det är därför av stor vikt att leverantören med en trovärdig produktbeskrivning kan styrka att så inte är fallet.

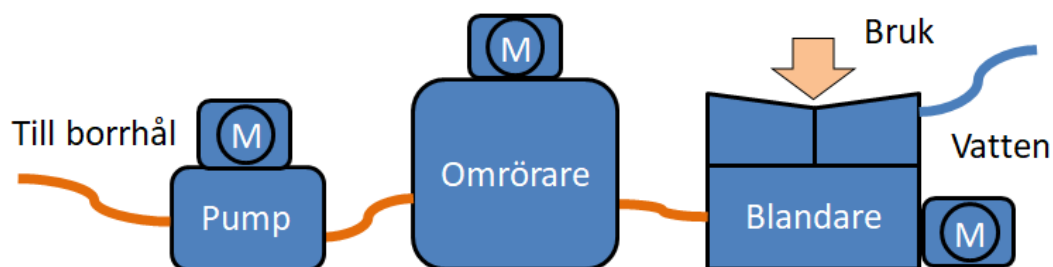
Materialet levereras normalt i säckar om 25 kg, lastade på pall. Säckarna skall förvaras torrt, helst i container eller inomhus. Ett lägsta krav är förvaring under presenning eller industriplast.

### Blandningsförfarande

Vattenhalten är A och O för att blandningen skall få rätt konsistens (viskositet). Den är dessutom avgörande för blandningens övriga egenskaper såsom värmeledningsförmåga, frystålighet och

tättningsförmåga. Man skall därför vara noga med att följa leverantörens recept. Det är också viktigt att blandningen görs omsorgsfullt så att den blir homogen innan den pumpas ner i hålet.

För blandningen behövs en blandare (mixer) och en omrörare (aggregator) och för injekteringen en högtryckspump, se figur 2.



Figur 2. Principen för tillredning och pumpning av återfyllningsbruk bestående av en blandare, en omrörare och en högtryckspump. M står för motor (figur Geostrata)

Vatten och pulver blandas först i en blandare. I dennas nedre del pumpas ingredienserna runt med hög hastighet tills pulvret blivit helt genomfuktat och komponenterna väl blandade. Efter hand pumpas det över till omröraren där det avluftas och hålls kvar i suspension innan det sugns in i högtryckspumpen för injektering i borrhålet.

Det är viktigt att blandningen inte får för lång uppehållstid innan nedpumpningen så att den bentonit som ingår inte hinner svälla fullt ut. Tillredning och nedpumpning skall därför göras utan avbrott om tätningen skall bli fullgott utförd.

Det behövs således en tämligen kvalificerad sidoutrustning. Denna är dock av samma typ som används i Sverige vid annan injektering i jord och berg. Sådan utrustning finns på den svenska marknaden både som färdiga helhetslösningar och som enskilda komponenter. Det finns också företag som utför injekteringsarbeten, vilket kan vara ett bra alternativ jämfört med att skaffa egen utrustning.

#### Kontroll av konsistens och densitet

För kontroll av konsistensen används enklast så kallad March Funnel Viscosity. Med denna mäter man tiden det tar för 1 liter av blandningen att rinna igenom en speciellt utformad tratt, se figur 3. Med en våg och ett enliterskärl kan densiteten på ett enkelt bestämmas.



Figur 3. Enkel utrustning för mätning av blandningens viskositet och densitet, en viskositets-tratt, ett enliterskärl och en hushållsvåg. Foto: O Andersson

För rent vatten tar det 28 sekunder att tömma viskositets-tratten. För borrhätskor brukar det ligga i intervallet 30-50 sekunder. För en väl blandad återfyllning varierar konsistensen avsevärt

beroende på vilken produkt som används. För de flesta fabriken ligger tiden vanligen mellan 60-100 sek.

Som framgår av tidigare tabell 1 ligger den färdigblandade återfyllningens densitet på allt mellan 1,46–1,94 kg/l. Denna densitet förutsätter att rekommenderad mängd vatten används.

Det rekommenderas att man innan återfyllningen gör en provomgång med anvisad vattenmängd, blandar denna väl, och därefter gör en referensmätning. Denna kan senare användas för att då och då kontrollera blandningens viskositet och densitet under hela återfyllningsproceduren.

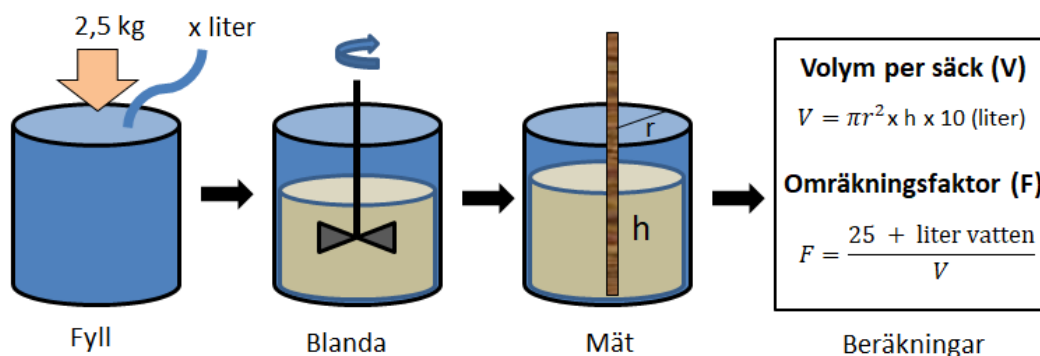
Tester skall alltid göras en bestämd tid efter provtagning, exempelvis 2-3 minuter. Ju längre tiden går desto mer trögflytande blir blandningen, vilket beror på den svällande bentoniten.

### Beräkning av återfyllningsmängd (volym)

För att veta hur många säckar som går åt måste man veta vilken volym blandningen får då pulvret blandats med vatten. Även detta varierar med olika fabrikat.

Tar man exempelvis en säck ThermoCem Plus (25 kg) fås volymen 31 liter efter tillsats av 20 l vatten (vilket föreskrivs). Detta får man genom att multiplicera vikten med faktorn 1,24. Denna faktor skiljer sig mellan olika fabrikat och måste således beräknas från fall till fall.

Det enklaste sättet att bestämma volymen är att göra en mindre provomgång och använda sig av 2,5 kg pulver och en 10-del av rekommenderad mängd vatten. Bruk och vatten hålls i ett mindre kärl med känd radie (r) och blandas därefter med visp till dess det är homogent och väl blandat. Sedan mäts höjden (h) av blandningen med exempelvis en tumstock varefter volymen och blandningsfaktorn beräknas enligt de formler som framgår av Figur 4.



Figur 4. Metodik för att beräkna volymen (V) och omräkningsfaktor (F) för en säck bruk blandat blandad med rekommenderad mängd vatten (Figur: Geostrata)

Naturligtvis kan samma sak göras med en större blandning, exempelvis 10 kg eller en hel säck, men då med en annan faktor i formeln för volymvärdet (2,5 respektive 1).

När man väl vet vilken volym blandningen har är nästa steg att beräkna hur många säckar man behöver för ett eller flera borrhål. Detta är lite enklare eftersom vi i Sverige använder oss av standarddimension för både foderrör och det öppna hålet.

Som hjälpmedel kan de specifika volymerna som anges i Tabell 2 användas.

Tabell 2. Volymtabell för beräkning av återfyllningsmängd per meter borrhål

Energibrunnsdel	Volym/m (liter)
Foderrör 139,7 x 5,0 mm	13,2
Foderrör 168,8 x 5,4 mm	19,7
Öppet hål 115 mm	10,4
Öppet hål 140 mm	15,4
Kollektorslang 4 x 32 mm	3,2
Kollektorslang 2 x 40 mm	2,5
Kollektorslang 2 x 45 mm	3,2
Kollektorslang 2 x 50 mm	3,9

Tabellen visar delvolym per meter för olika delar av en energibrunn. En brunn som exempelvis har 20 m foderrör (139,7 x 5 mm) och 180 m öppet hål i dimension 115 mm samt en enkel U-rörskollektor 2 x 40 mm, rymmer 1 636 liter.  $(20 \times 13,2 + 180 \times 10,4) - (200 \times 2,5)$ . Skulle detta hål fyllas med exempelvis ThermoCem skulle det gå åt 53 säckar  $(1\ 636/31)$ .

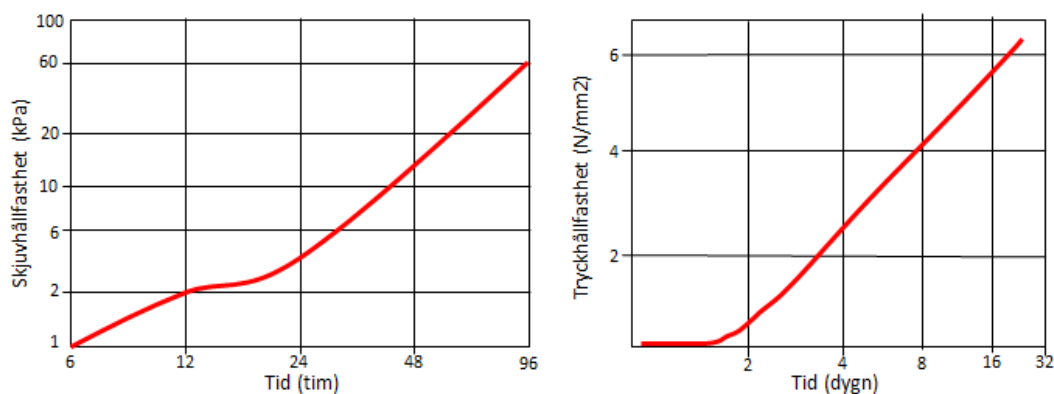
Det har i exemplet antagits att injekteringsröret dras upp. Skulle det sitta kvar, blir skillnaden marginell eftersom röret i så fall också blir fyllt.

En del av blandningen kommer att tränga ut i sprickor i berget. Detta gör att det oftast går åt mer återfyllning än beräknat. Det är därför klokt att ha några extra säckar med sig.

### Härdningstid

Cementbaserade blandningar kommer att succesivt hårdna (bränna). Detta är en process som tar ganska lång tid och sker under viss värmeavgivning.

Något förenklat kan processen beskrivas som att blandningen från att vara en suspension övergår till ett tixotropiskt tillstånd. Detta sker på några timmar och håller i sig upp till drygt ett halvt dygn. Efter ca ett dygn finns i princip ingen plasticitet kvar, men härdningsprocessen fortsätter därefter långsamt och tar flera veckor att fullfölja, se Figur 5.



Figur 5. Exempel på härdningsprocess av en cementbaserad blandning med utveckling av skjuv- och tryckhållfasthet som funktion av tid (Figur Geostrata efter Heidelberg Cement 2019)

Figuren visar att det tar ca 1 dygn för cementen att nå en skjuvhållfasthet av 4 kPa (i detta fall ThermoCem Plus). Vid denna hållfasthet är cementen inte längre plastisk. Det är då helt säkert att släppa mottrycket man haft i kollektorslangarna under injekteringen.

Härdningsförloppet kan vara annorlunda för andra cementbaserade återfyllningsmaterial. Därför är det klokt att kontrollera förloppet med egna prover vars hårdhet kan uppskattas subjektivt genom att exempelvis använda en knivspets eller likvärdigt.

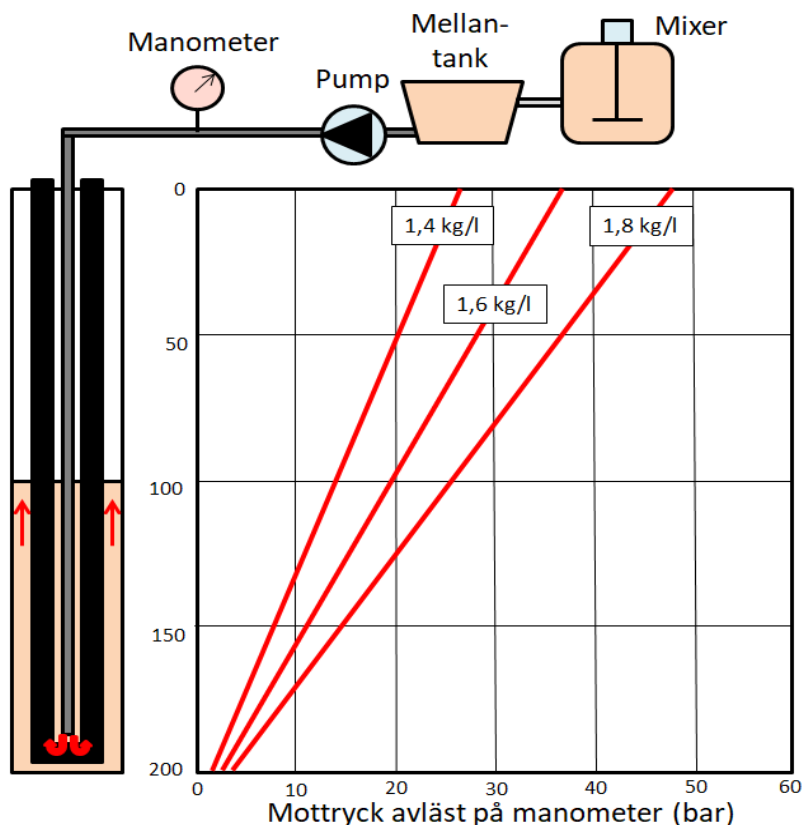
### Injekterings utförande

Enligt Normbrunn 16 skall en fullhålsinjektering utföras från botten och uppåt. För detta behövs en högtryckspump och ett injekteringsrör. Specifikt för Sverige är att hålen ofta är djupa och att det därför behövs en egen utvecklad teknik.

Pumpen bör lämpligen vara av typ kolvump. Denna pumpar med en jämn volym per pumps slag och klarar därför en stabil hastighet.

Som injekteringsrör bör en PE-slang DN32 användas. Allt eftersom hålet återfylls bör slangen lyftas en eller flera gånger, beroende på håldjup och mottryck.

För kontroll av mottrycket skall finnas en manometer som avläser flödesmotståndet, se figur 6.

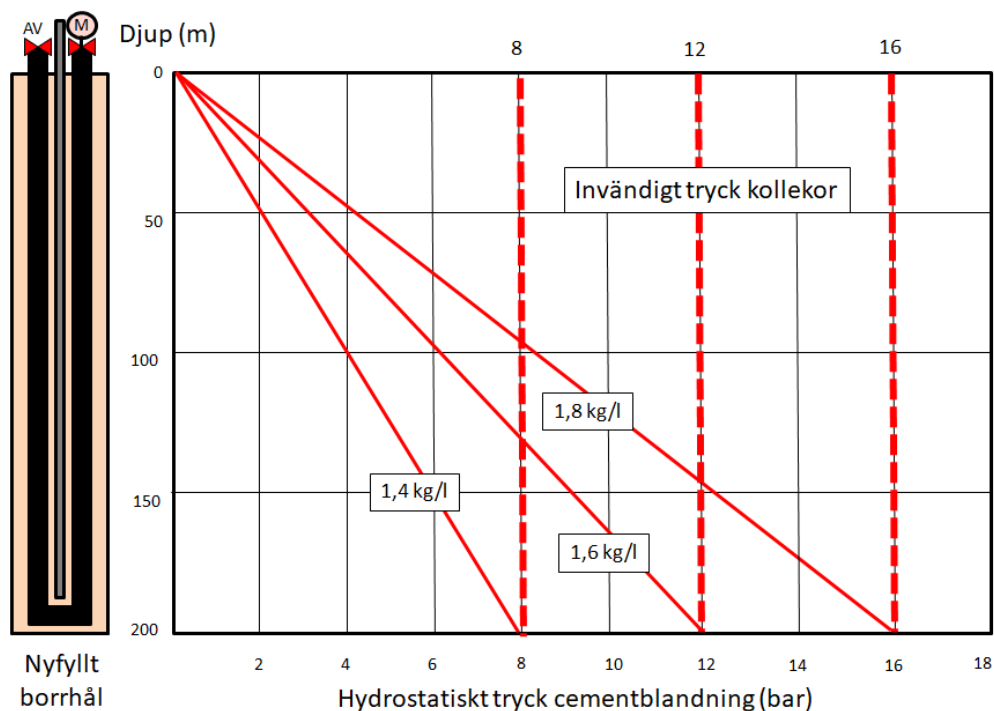


Figur 6. Principiell illustration av injektering i energibrunn med djupet 200 m. Diagrammet visar teoretiskt mottryck vid injektering för tre olika densiteter. Tryckfallet i injekteringsröret ingår med ett uppskattat värde av 2-4 bar för viskositet 60, 80 respektive 100 sek (Figur: Geostrata)

Väljer man att succesivt lyfta injekteringsröret minskar naturligtvis mottrycket. Röret får dock inte lyftas helt upp till injekterad nivå, utan bör alltid vara nedfört minst 5 m under denna nivå. Detta för att inte skapa luftbubblor eller inhomogeniteter i blandningen (Eugster 2011 b).

Blandningen skapar ett stort tryck mot de vätskefyllda kollektorslangarna. Störst blir trycket vid returböjen. Detta tryck fortplantar sig genom hela kollektorn ända upp till kollektorns tillslutningar. Tillslutningen utsätts således för ett stort tryck och bör utföras med kulventiler. Vidare bör någon av skänklarna också förses med en manometer för avläsning av trycket invändigt i kollektorn.

Används en fyllning med densiteten 1,6 kg/liter blir differenstrycket 12 bar på djupet 200 m, se Figur 7.



Figur 7. Effektivt hydrostatiskt tryck mot vattenfyllda kollektorslangar som funktion av djup och med tre cementblandningar som har olika densitet (figur: Geostrata).

Ett tryck av 12 bar i toppen av kollektorn riskerar att spränga slangarna i toppen av borrhålet om kollektorns tryckklass är PN10. Däremot klarar sig tryckklassen PN16 från denna risk om densiteten är 1,6 kg/l.

Utifrån ovan sagda är en given rekommendation att inte överskrida återfyllningsdjupet 150 m med tryckklassen PN10 (SDR17). Vid djup 150- 300 m är det därför nödvändigt att dela upp återfyllningen i två etapper. För en kollektor med tryckklass PN 16 (SDR11) blir motsvarande djup 200 respektive 400 m.

Det finns således all anledning att inför en fullhålstätning fundera på följande frågeställningar.

- Vilken typ av material passar?
- Vilken densitet skall återfyllningen ha?
- Vilken blir återfyllningsvolymen?
- Hur stort blir differenstrycket mot kollektorn vid planerat håldjup?
- Klarar tryckklassen på kollektorer differenstrycket?
- Klarar förslutningen på kollektorslangarna det invändiga trycket?

## Partiell tätning

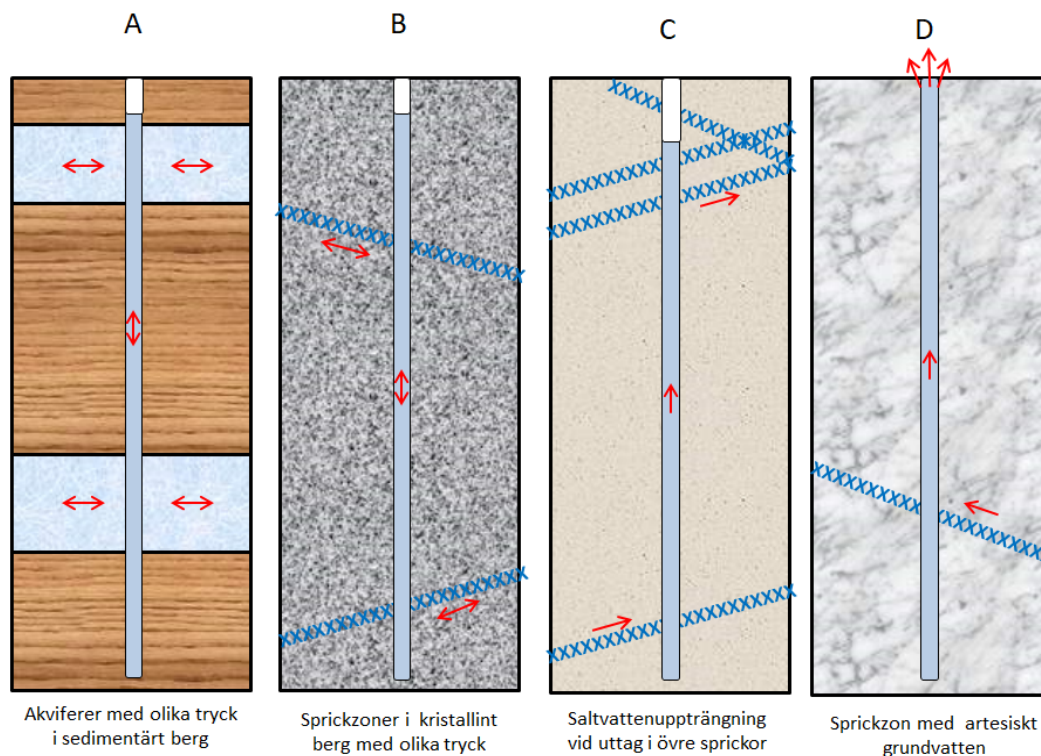
### Krav och tillämpningar

Med partiell tätning menas att endast en del av energibrunnen tätas. Enligt gällande Normbrunn tillåts sådan tätning, men då föreskrivs att tätningspluggen skall vara minst 10 m lång. Detta



gäller specifikt vid övergång mellan sött och salt grundvatten. Vid andra tillfällen, då det endast gäller att förhindra vertikal strömning i borrhålet, behöver pluggen nödvändigtvis inte vara 10 m lång. Praxis är för närvarande 5 m beroende på att bottenplattan inte tål högre last.

Det finns ett antal hydrogeologiska förhållanden som potentiellt kan påverka grundvattnet på ett oönskat sätt och som kan avhjälpas med hjälp av partiell tätning, se Figur 8.



Figur 8. Några hydrogeologiska situationer när partiell tätning kan tillämpas. För ytterligare förklaring se texten nedan (Figur: Geostrata).

- Två akviferer (grundvattenmagasin) med olika hydrostatiskt tryck får grundvatten att flöda genom borrhålet från den ena akviferen till den andra. Detta förekommer främst mellan sandstenar i sedimentär berggrund.
- Samma sak som A, men nu mellan olika sprickzoner i fast eller kristallint berg. Detta förekommer ibland i närheten av tektoniska zoner.
- Salt eller bräckt vatten från djupare sprickor tränger upp genom hålet och kan sprida sig i yt nära sprickor. Risken uppstår i de fall det finns vattenbrunnar i området som sänker grundvattennivån i de yt nära sprickorna.
- En vattenförande sprickzon påträffad som har ett hydrostatiskt tryck som når över marknivån. Detta artesisika grundvatten gör att brunnen rinner över. Detta förekommer oftast i dalgångar eller låg terräng som omgärdas med markant högre liggande omgivning.

Det kan även finnas andra exempel på omständigheter där ett borrhål behöver tätas, exempelvis inom områden med sedimentär lera. Här kan en sämre utförd foderrörstättning skapa ett flöde av grundvatten ner i berget och orsaka sättningar i leran, vilket kan avhjälpas med en tätningsslugg.

Ett annat exempel är då man borrar genom sedimentärt berg med vattenförande lager och kommer ner i kristallint berg med vattenförande sprickor. Sådana förhållanden finns på enstaka platser i landet, exempelvis delar av Östergötland och Västergötland samt längs Smålands nedre östkust inklusive Öland.

Det finns en rad andra exempel, bland annat speciell tätning nedanför ett foderrör i förorenad jord (se Figur 13 längre fram) och bortskärmning av dålig vattenkvalitet orsakad av alunskiffer.

### *Bentonitpellets på stödplatta*

Bentonit är ett naturligt lermineral som har stor användning inom hela byggsektorn. Bentonit i pelletsform finns i olika varianter och i olika fraktioner.

Gemensamt för bentonitpellets är att de suger åt sig vatten och sväller. Läggs de i ett vattenfyllt glas börjar de snabbt att svälla och bilda en fast massa med mycket låg permeabilitet, se Figur 9.



*Figur 9. Bentonitpellets (Dantonit) i vattenfyllt glas, efter 10 min. respektive 12 tim (foto, Olof Andersson). Till höger exempel på stöd för pelletstätning (Med tillstånd från DeBe Flow Group och Muovitech AB)*

Svällningen gör pelletsen lämpade för partiell tätning av energibrunnar. Det finns ett stort antal pelletsfabrikat som är användbara för partiell tätning. Pelletsen är relativt jämnkornig och har formen av korta korvar med tjockleken 6-8 mm och längden 8-12 mm. Sjunkhastigheten i vatten anges ligga mellan 15-20 m/min. Det som varierar mest är svällningsvolymen som kan vara så låg som 30 %, men också uppgå till 200 %. Permeabiliteten uppges ligga mellan  $10^{-10}$ - $10^{-12}$  m/s, vilket i praktiken kan betraktas som ett helt tätt material.

Värt att notera är att svällningen börjar redan efter 15-20 minuter och att det tar flera dygn innan den helt upphört. Också värt att notera är att om pelletsen utsätts för bräckt eller salt vatten så minskar svällningshastigheten och även svällningsvolymen. Då salt grundvatten på grund av en högre densitet normalt sett ligger djupt ner i en brunn finns det anledning att sätta pluggen en bit upp i brunnen där det söta vattnet finns.

Vill man göra en partiell tätning i en del av brunnen behövs ett stopp för pelletsen. Det finns ett par typer av sådana stödplattor på den svenska marknaden, se Figur 9. Dessa är utformade så att de skall smita tätt mot en borrhålsvägg samt kunna tåla lasten från ovanpåliggande fyllning.

### *Manschetter med svällande gummi*

Band med svällande gummi har historiskt använts främst för tätning av betongfogar Inom byggbranschen där de kallas för svällband. De består av syntetiskt framtaget gummi (hydrosit) som har förmåga att suga åt sig vatten och på så sätt svälla och samtidigt skapa ett svälltryck.

Banden är normalt sett försedda med en hinna som fördröjer svällningen. Det finns ett antal olika sorter med olika hög grad av svällning, allt mellan 20 och 800 %.

Inom brunnborrningsbranschen har svällgummit använts sedan länge som manschetter och solida tätningar i bergborrade vattenbrunnar och då gått under produktnamnet "Aquatät". Samma system har sedermera utvecklats att även omfatta produkter för energibrunnar. De har då fått genomgångar för kollektorslangar, se Figur 10.



*Figur 10. Exempel på manschetter med svällande gummi utvecklade för partiell tätning av energibrunnar (med tillstånd från DeBe Flow Group och Muovitech AB)*

Gemensamt för dessa applikationer är att svällgummit är av blå typ. Denna uppges vanligen öka i volym med 4-6 gånger enligt uppgifter i produktbeskrivningar. Det är mer än tillräckligt för att erhålla en trycksatt svällning mot en borrhålsvägg, även om ytan skulle ha vissa ojämnheter. Svällningen tar dock flera dygn och förutsätter fri tillgång på vatten.

### *Kombinationer*

Det finns flera olika kombinationer för ett partiellt tätningsutförande. Vilket man skall välja beror i hög grad på vilka jord- och berglager energibrunnen är nedborrad i och vilka krav som ställs på tätningen, främst sett ur ett hydrogeologiskt perspektiv.

Tänkbara kombinationer är i första hand följande.

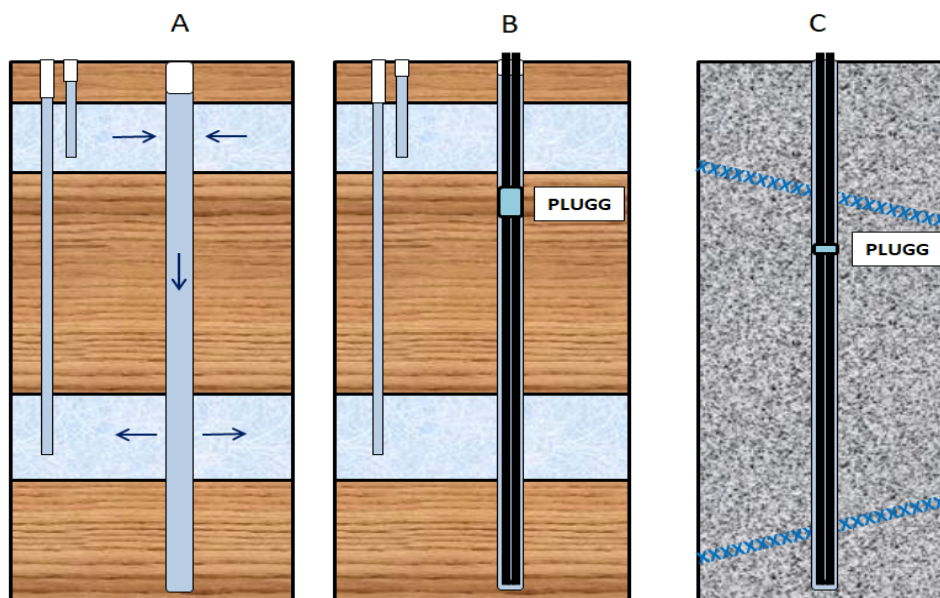
- Bottenplatta + bentonitpellets
- Enbart en eller flera tätningsmanschetter med svällgummi
- Manschett med svällgummi + bentonitpellets
- Bottenplatta eller manschett + nedpumpning av en termisk cement- eller bentonitblandning

Det sistnämnda alternativet är sannolikt av mindre intresse då det kräver en omfattande sidoutrustning till en förhållandevis begränsad tätningsinsats och skulle därmed bli kostsam.

### Utförande

Oavsett vilket alternativ som väljs behöver man veta var i borrhålet den partiella tätningen skall utföras. Det är därför av stor vikt att borrhålet noggrant dokumenteras vad gäller lagerföljd och nivåer på vattenförande lager och/eller sprickor, se även under kapitel "Anmälan till kommunen".

Det gäller således att i samband med nedföringen av kollektorn veta var på kollektorn som en stödplatta eller en manschett skall sättas fast för att följa med kollektorn ner i brunnen. Detta är inte helt lätt eftersom kollektorerna för närvarande inte har några längdangivelser. Därför måste man märka ut detta på kollektorn. Exempel på placering i borrhål framgår av Figur 11.



Figur 11. Exempel på tätningsplacering i sedimentärt och kristallint berg (Figur: Geostrata)

I figuren visas två exempel. I det ena fallet (A-B) tätning mellan två vattenförande sandstenar, där den övre sandstenen har en högre liggande grundvattennivå än den undre. Mellan sandstenarna ligger täta lager. Skillnaden i grundvattennivåer ger i detta fall upphov till ett nedåtriktat flöde genom borrhålet (A), som stoppas med en tätande plugg (B).

I sedimentärt berg är det lämpligt att välja alternativet med bottenstöd (platta eller manschett) varpå bentonitpellets används som den tätande pluggen. Bentoniten fyller ut de håligheter och ojämnheter som ofta förekommer i just denna typ av berg.

Vid tätningar med bentonitpellets bör pluggen vara minst 5 m (gällande praxis i borrbranschen). Pluggen placeras lämpligast en bit under den övre sandstenen, och då helst där borrhålet visar på en lerhaltig bergart.

Pellets tenderar att kleta ihop sig om den hålls ned efter det att bottenstödet satts. Det vanligaste och säkraste sättet att applicera en partiell tätning med stödplatta är därför att montera plattan på kollektorn på den förutbestämda nivån. Samtidigt som kollektorn sänks ned i brunnen förs pelletsen på. På så sätt säkras placeringen av det tätande materialet och risken för ihopkletning minimeras.

I det andra fallet (C) visas en tätning mellan en övre och undre sprickzon i kristallint berg. Skälen till att utföra en sådan tätning kan vara flera, men vanligast är det för att förhindra kortslutning

mellan sprickzoner, uppträngande salt eller artesiskt vatten i den undre sprickzonen. I dessa fall är det enklaste att använda en manschett med svällgummi. Denna sätts lämpligen en bit under den övre sprickzonen. Orsaken är främst att svällgummit inte skall få kontakt med salt grundvatten som kan finnas på större djup. Bräckt eller salt vatten reducerar nämligen såväl svällhastigheten som svällvolymen markant.

En manschett kan bedömas som säker om den placeras på en nivå med sprickfritt berg, vilket borgar för att hålväggen är nära nog slät. För att påskynda svällhastigheten kan det vara klokt att först skrapa bort den tunna skyddande hinna som vanligen finns på svällgummits yta.

Skulle det handla om salt artesiskt grundvatten bör manschetter med svällande gummi helt undvikas på grund av osäker svällning. I en sådan situation är en pluggning med bentonitpellets en betydligt säkrare, bland annat för att den har en egentyngd som håller nere det artesiska trycket.

## **Kvalitetskontroll**

### *Täthetskontroll av återfyllning*

Varken i utlandet eller i Sverige finns det någon vedertagen metod att kontrollera om en fullhålsåterfyllning blivit tät.

I Tyskland pågår, delvis inom ramen för Annex 27, ett antal forskningsaktiviteter med målet att kunna kvalitetssäkra återfyllningar. Detta arbete är ännu inte avslutat och det lär därför dröja innan eventuella tillämpningar blir aktuella.

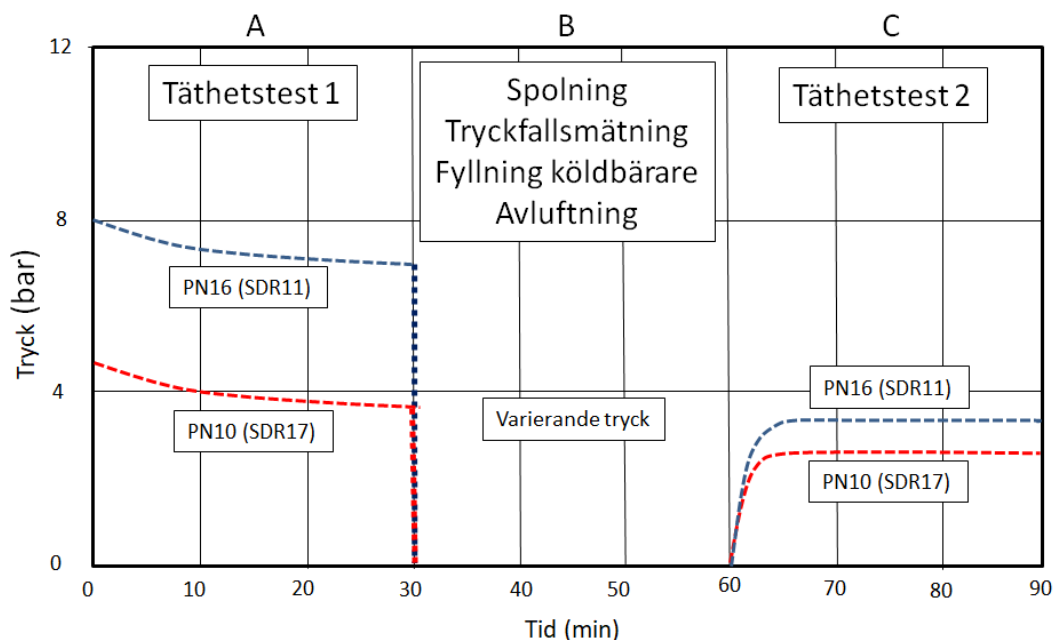
En metod under prövning är att blanda in finkornig magnetit i återfyllningen och med hjälp av geofysisk loggning invändigt kollektorslangarna kunna upptäcka brister vad gäller homogenitet och eventuella hålrum efter det att återfyllningen gjorts och stelnat.

Den tyska forskningen omfattar även studier på återfyllningar som hämtas tillbaka från borrhålen. Detta görs med en form av kärnborrning, kallad överborrning. Den återhämtade fyllnaden genomgår detaljerade studier vad avser homogeniteter, sprickbildningar, håligheter, m.m. Metoden användes först i ett utredande sammanhang men är nu också en metod för grundforskning som syftar till att ta fram recept på fullgoda återfyllningsmaterial samt att vidareutveckla själva återfyllningsprocessen.

### *Provtryckning av kollektorer i återfyllda brunnar*

I Sverige finns det inte någon norm för hur återfyllda brunnars kollektorer skall provtryckas. Däremot finns det råd och anvisningar för hur en kollektor som satts i grundvattenfyllt borrhål skall provtryckas (Svenskt Geoenergicentrum 2018)

När det gäller kollektorer i återfyllda borrhål får vi för närvarande förlita oss på de kunskaper som framkommit i Annex 27, men också i projekt som tidigare drivits inom IEA-ECES, bland annat Annexen 13 och 14, samt EU-projektet Geotrained. Baserat på detta underlag har en rekommendation på förfaringssättet tagits fram, vilken förutom trycktest också innehåller ett antal andra moment som bör utföras i samband med provtryckningen, se Figur 12.



Figur 12. Rekommendation för tryck- och flödestest i återfyllda borrhål (Figur: Geostrata)

Figuren uppger två olika tryckklasser av kollektorer, PN10 (SDR17) för borrhål understigande 150 meters djup och PN16 (SDR11) för djupare borrhål.

Det förutsätts att ett trycktest enligt Svenskt Geoenenergicentrum (2018) har utförts redan innan återfyllningen av borrhålet påbörjas. Testet efter återfyllning indelas sedan i tre steg, A-C, och tar sin början ca 1 dygn efter det att återfyllningen avslutats.

**Steg A.** Kollektorn belastas med ca 50 % av sin tryckklass. Kollektorslangarna expanderar något och trycket faller. Skulle inte tryckminskningen plana ut efter 30 min är kollektorn troligen otät. Vid osäkerhet förlängs tiden till 60 min.

**Steg B.** Kollektorn spolas ren med högt flöde. Därefter utförs en flödes- och tryckfallsmätning enligt anvisning i nedanstående kapitel. Sedan fylls köldbärarvätskan på och avluftas.

**Steg C.** Kollektorn trycksätts med ett beräknat maximalt drifttryck. Detta skapar ett snabbt ökat tryck i kollektorn som därefter planar ut och blir stabilt. Skulle trycket sjunka mer än 0,1 bar efter 30 min indikerar detta att kollektorn är otät. Vid osäkerhet förlängs testet till 60 min.

### Tryckfallsmätning

Tryckfallet mäts lämpligen under steg B med bibehållet vatten i kollektorn efter det att kollektorn spolats ren med högt flöde.

För att mäta tryckfallet behövs ett större kärl, en pump och två manometrar (en på vardera kollektorslangen), en flödesmätare, samt ett ventilarrangemang med icke-stryppande kulventiler.

Vid mätningen pumpas vattnet runt i kollektorn vid ett bestämt flöde som ses på flödesmätaren. Tryckfallet avläses på manometrarna som en tryckdifferens mellan in- och utgående slang. Beroende på vattnets temperatur blir tryckfallet lite olika, men bör hamna i närheten av de riktvärden som framgår av Tabell 3. Notera att tabellen gäller för rent vatten och således inte för etanolblandad köldbärarvätska.

Tabell 3. Riktvärden för tryckfall med vatten och standardkolektorer i tryckklasserna PN10 och PN16. Beräkning är utförd med tryckfallsmonogram för PE-rör (Uponor 2017)

Kollektor (PE100)	Flöde (l/min)	Tryckfall/100 m (KPa)	Tryckfall 2x200 m (KPa)
DN32 SDR17 (PN10) (32 x 2,0 mm)	20	16	64
	25	22	88
DN40 SDR17 (PN10) (40 x 2,4 mm)	30	11	44
	35	15	60
DN50 SDR17 (PN10) (50 x 3,0 mm)	45	8	32
	50	10	40
DN32 SDR11 (PN16) (32 x 3,0 mm)	20	23	92
	25	33	132
DN40 SDR11 (PN16) (40 x 3,7 mm)	30	14	56
	35	19	76
DN50 SDR11 (PN16) (50 x 4,6 mm)	45	10	40
	50	13	52

Tabellen visar beräknade tryckfall per 100 m kolektorslang med rent vatten vid rekommenderat flöde samt en temperatur av 10 grader. I exemplet längst till höger, med en 200 m djup brunn försedd med U-rörskollektor (400 m), framgår det förväntade totala tryckfallet vid aktuella flöden.

Kraftigt avvikande högre värden indikerar att slangarna på ett eller annat sätt blivit deformerade. Detta är i så fall klämskador som troligen kan kopplas till återfyllningsprocessen.

Om en slang har blivit klämd eller deformerad går detta att verifiera, exempelvis med ett lod, men det är egentligen ointressant att mäta eftersom skadan finns och sannolikt inte går att åtgärda. Brunnen bör därför överges och ersättas med en ny.

### *Kontroll av kapseltäthet*

Kapseltätning finns för närvarande inte kvar på marknaden. Det kan ändå finnas skäl till att nämna den här eftersom metoden kan återkomma och kontrollen är relativt sett enkel.

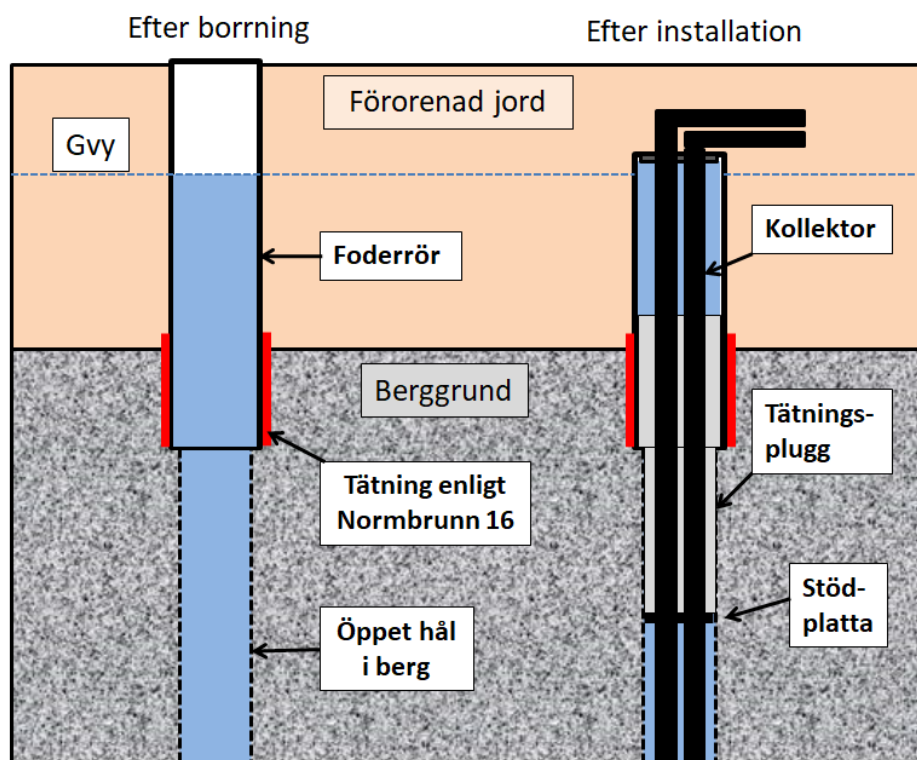
Efter det att kapseln kommit på plats och innan kolektorn installeras inuti kapseln utförs en kontroll av kapselns täthet enligt följande.

1. Kapseln fylls med vatten upp till ca maximalt 10 m över uppmätt grundvattennivå.
2. Till en början sjunker nivån i kapseln, vilket beror på att den pressas ut mot hålsväggen. Mät då och då till dess att nivån stabiliseras.
3. När nivå stabiliserats fylls vid behov ytterligare vatten på i kapseln. Det rekommenderas en slutnivå som ligger ca 5 m över rådande grundvattennivå. Om nivån inte stabiliseras är kapseln otät. Den måste då dras upp och ersättas med en ny.
4. Efter kontrollen förses kapseln med ett påfyllnadsrör för mätning av vattennivån och ytterligare påfyllnad om så skulle krävas. Mätning bör utföras minst en gång per år.

Vid tidigare tillämpningar var det av stor vikt att kapseln installerades enligt leverantörens anvisningar för att undvika att den skadades vid installationen. Högsta invändiga övertryck vid påfyllning med vatten var satt till 10 mVp (1 bar).

### *Täthetskontroll av partiell återfyllning*

För partiella tätningar är täthetskontroll med påfyllnad av vatten endast tillämpbar om pluggen sitter ovanför en vattenförande sprickzon eller om en förstärkt tätning gjorts i övergången mellan jord och berg. Det senare kan exempelvis bli aktuellt i områden med förorenad jord, se Figur 13.



Figur 13. Exempel på förstärkt tätning för energibrunnar med risk för spridning av föroreningar från jordlager till bergets grundvatten (Figur: Geostrata)

Själva tätningsförsöket utförs naturligtvis innan installationen färdigställts och görs genom att fylla foderröret med vatten ända upp till ovankanten på foderröret. Är pluggen otät sjunker helt enkelt nivån i röret. Testet bör ha en varaktighet av minst ett dygn.

Sitter den tätande pluggen mellan två vattenförande sprickzoner, som i Figur 11, är en täthetstest med vattenpåfyllnad inte möjlig. Man får då förlita sig på att svällgummi och bentonit svällt som förväntat.

Ett sätt att kontrollera svällningen är genom ett vattenbad med ett prov av samma typ av svällgummi eller bentonitpellets som använts vid den utförda tätningen. Vattenbadet skall i så fall bestå av vatten som sparats från utförda blåskapaciteter under borrningen, om möjligt från den nivå tätningspluggen sätts. Man får då också en uppfattning av hur lång tid svällningen tar, vilket kan vara en värdefull information.



## Referenser

Andersson, O. 2010 a. Tätning av borrhål med Green Collector i kristallint berg. Resultat av försök i Vallentuna. Geostrata HB, 2010-11-10. (<http://docplayer.se/12773126-Tatning-av-borrhål-med-green-collector-i-kristallint-berg.html>)

Andersson, O. 2010 b. Tätning av borrhål med Green Collector i sedimentärt berg. Resultat av försök i Helsingborg. Geostrata HB, 2010-12-03. (<http://docplayer.se/12269592-Tatning-av-borrhål-med-green-collector-i-sedimentärt-berg.html>)

Andersson, O., Gehlin S. 2018. *State-of-the-Art: Sweden*. Quality Management in Design, Construction and operation of Borehole Systems, 2018. (Available for download at [http://media.geoenergicentrum.se/2018/06/Andersson Gehlin 2018 State-of-the-Art-report-Sweden-for-IEA-ECES-Annex-27.pdf](http://media.geoenergicentrum.se/2018/06/Andersson_Gehlin_2018_State-of-the-Art-report-Sweden-for-IEA-ECES-Annex-27.pdf))

Beatty, B. 2014. Geothermal Drilling Course-Session 4. BDA Training courses, 2014. <http://www.britishdrillingassociation.co.uk/Geothermal-Drilling---Training-&Qualification-Toolkit>

Dantonit AS, 2019. *DantoCon Thermal 200 – Produktbeskrivelse*. Download December 2019.

Eugster, W. 2011 a. *Functional and quality control*. In: McCorry et al (eds) *Geotrained Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems*, Geotrained, GEFG, Brussels. 145-152.

Eugster, W. 2011 b. *Installation and grouting*. In: McCorry et al (eds) *Geotrained Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems*, Geotrained, GEFG, Brussels. 139-144.

Fischer Spezialbaustoffe GmbH, 2019. *Factsheet Fischer GeoSolid 240 HS*. Last update 01/2019.

Fleuchaus, P., Blum, P. 2017. *Damage event analysis of vertical ground source heat pump systems in Germany*. Geothermal Energy. Volume 5. Article number 10.

Freier Hanserstadt Hamburg. 2014. *Produktliste A*. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Abteilung Wasserwirtschaft, Stand: 28. August 2014.

Gehlin S., Andersson O. 2018. *Draft Final Report Subtask 1, Design Phase*. IEA ECES Annex 27- Quality Management in Design, Construction and operation of Borehole Systems. October 2018. (Will be available for download at <http://geoenergicentrum.se/publikationer/> in early 2020)

Gehlin, S., Andersson O. 2019. *Geothermal Energy Use, Country Update for Sweden*. European Geothermal Congress 2019, Den Haag, The Netherlands, 11-14 June 2019.

GWE Pumpenboese GmbH, 2016. *Datenblatt GWE GeoTherm 2.0*. Last update 09/2016

Heidelberg Cement AG, 2016. *Technical data sheet ThermoCem Plus*. Last update 01/2016.

Heidelberg Cement, 2019. *Prospekt ThermoCem (Kurzversion)*. Ej daterad

Hjulström, J. 2012. *Återfyllning av borrhål i geoenergisystem. Konventioner, metod och material*. Kandidatarbete Nr. 189. Geologiska institutionen, Lunds Universitet 2012

Leskelä, J. 2012. *Loggning och återfyllning av borrhål – Praktiska försök och utveckling av täthetskontroll i fält*. Kandidatarbete, Nr. 309. Geologiska Institutionen, Lunds Universitet 2012.

- Muovitec AB, 2019. *Muoviterm. Återfyllningsmaterial för borrhål*. Nedladdat december 2019. <https://www.muovitech.com/?page=products&category=Tillbeh%F6r%20och%20installation&id=3670>
- Naturvårdsverket 2003. *Naturvårdsverkets allmänna råd om vattenskyddsområden*. NFS 2003:16
- SGU, 2016. *Normbrunn-16. Vägledning för att borra brunn*. Sveriges Geologiska Undersökning, december 2016.
- SIA, 2010. *Sondes géothermiques*. Norm Suisse, SN 546 384/6. SIA Zurich, 2010-01-01.
- Svenskt Geoenergicentrum, 2018. *Anvisningar av förläggning av kollektorer i geoenergisystem. Riktlinjer för konsumentanläggningar*. <http://geoenergicentrum.se/publikationer-2/riktlinjer-och-rad/>
- Terra Caldius GmbH, 2016. *Technical data sheet Calidoterm ÖKO*. Last update, April 2016.
- Uhde J. 2010. *Geothermal Technologies*. Training Course, Peine, Germany, 17-19 March 2010. EU-project Geotrainet (IEE/07/581/S12.499061).
- Uponor, 2017. *Tryckrörssystem PE80. Dimensionering, Diagram 7.3.9*. <https://www.uponor.se/>
- VDI, 2001. *Thermische Nutzung des Untergrundes – Richtlinie VDI 4640, Blatt 2. Erdgekoppelte Wärmepumpen*. Beuth Verlag, Berlin, 2001.