

GEOGUIDEN

– EN GUIDE OM GEOENERGI
FÖR KOMMUNALA
HANDLÄGGARE

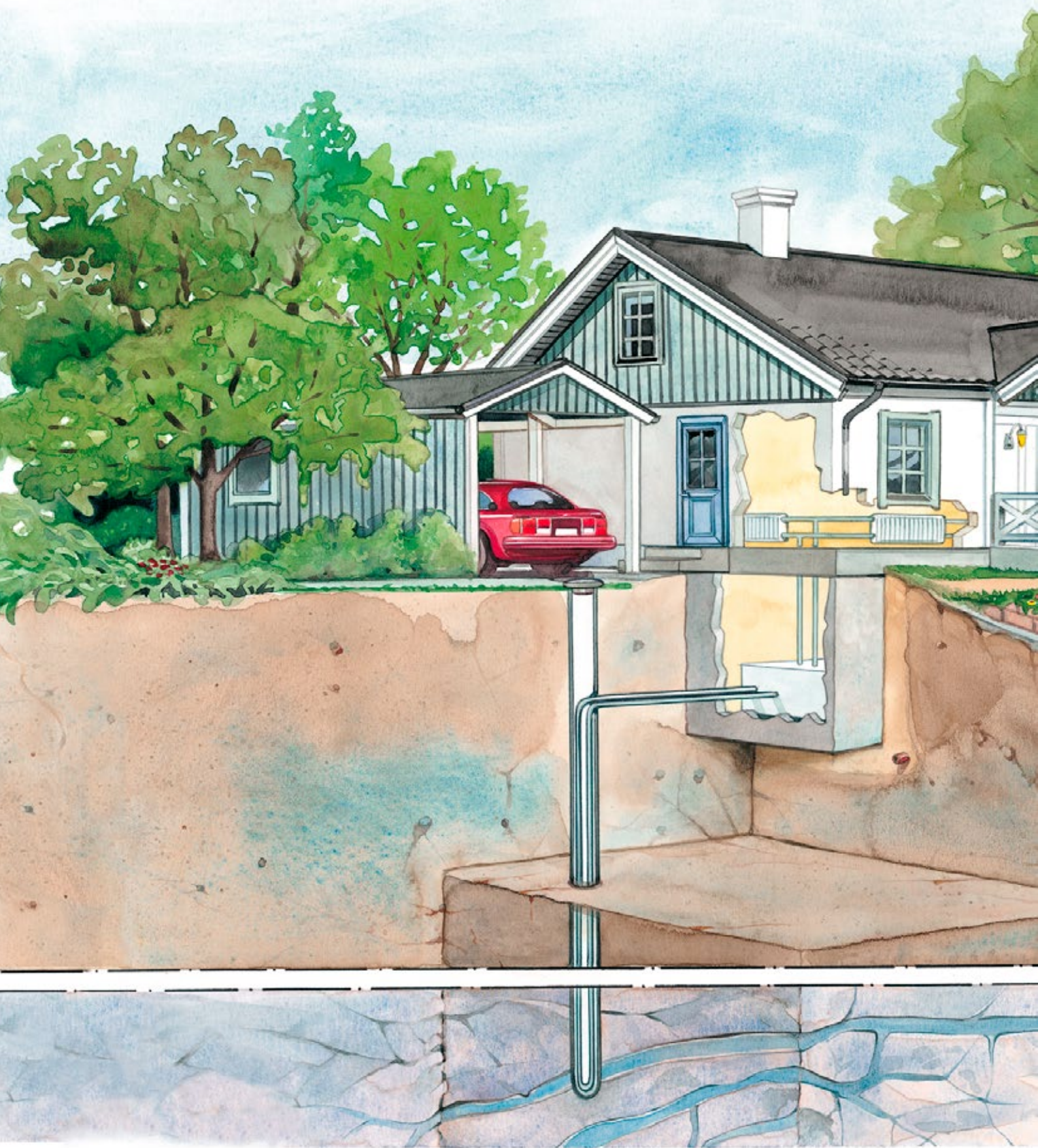
BORR  FÖRETAGEN®



INNEHÅLL

Förord	5
Introduktion till Geoenergi	6
Geoenergi med slutna system.....	6
Geoenergi med öppna system.....	8
Storskaliga system.....	9
Lagar och regler	10
Anmälan eller tillståndsansökan?.....	10
Lagar som påverkar geoenergianläggningar.....	10
<i>Miljöbalken</i>	10
<i>Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd</i>	11
<i>Miljöprövningsförordningen</i>	11
<i>Vattenskyddsområden</i>	11
<i>Brunnsregistrering</i>	11
<i>Arbetsmiljöskydd</i>	11
<i>Konsumenträtt</i>	11
<i>Boverkets byggregler</i>	12
<i>F-gasförordningen</i>	12
<i>Brandfarliga varor</i>	12
<i>Elinstallationsföretag</i>	12
<i>Lokala förutsättningar och regler</i>	12
Råd, regler och riktlinjer för geoenergianläggningar.....	13
<i>Svensk kylnorm</i>	13
<i>Normbrunn -16</i>	13
<i>Tekniska råd och riktlinjer</i>	14
Värmepumpen	14
Verkningsgrad för värmepumpar och system.....	15
Köldmedier och köldbärare.....	16
<i>Köldbärare</i>	16
<i>Köldmedier</i>	17
Borrhålsdimensionering och systemdesign	18
Energi och effektbehov.....	18
Temperaturen i borrhålet.....	18
<i>Temperaturutbredning omkring enskilt borrhål</i>	19
<i>Frysning i borrhål</i>	21
Borrhålsavstånd.....	22
<i>Avstånd mellan energibrunn och vattenbrunn</i>	23
<i>Termisk influens mellan två borrhål</i>	24
<i>Termisk influens i tätbebyggda områden</i>	24

Aktivt och totalt djup.....	24
Dimensionering vid låga grundvattennivåer.....	25
Dimensionering vid stora jorddjup.....	26
Borrning	28
Borrtekniker.....	28
<i>Gradade borrhål, styrd respektive riktad borrning</i>	28
Borrvatten.....	29
<i>Rening av borrvatten</i>	30
<i>Riktvärden för partikelhalt</i>	31
Borrkax.....	32
<i>Borrkax – avfall eller resurs?</i>	32
<i>Transport av borrkax</i>	33
Områden där speciell hänsyn bör tas vid borrning, borrning inom vattenskyddsområden och vid förorenad mark.....	34
<i>Områden med geologiska risker och försiktighetsåtgärder</i>	34
<i>Risker och försiktighetsåtgärder i vattenskyddsområden</i>	36
<i>Försiktighetsåtgärder i förorenade områden</i>	37
Återfyllning och tätning av borrhål	38
Geologiska förutsättningar	40
Jordlagrens mäktighet "jorddjup".....	40
<i>Var hittar jag information om jordlagrens mäktighet – jorddjupet?</i>	40
Berggrundens termiska egenskaper.....	42
<i>Vad är temperaturen på djupet?</i>	42
<i>Specifik värmekapacitet vad är det?</i>	45
<i>Värmeproduktionen i berggrunden vilken betydelse har den?</i>	45
<i>Var hittar jag information om berggrundens värmeledningsförmåga?</i>	45
Jordlagrens termiska egenskaper.....	46
Grundvattennivåer.....	46
Grundvattenkvalitet (salt).....	48
Bergartskemi.....	49
Hydraulisk konduktivitet (K) i berggrunden.....	50
Geologisk information – var finner jag den.....	52





FÖRORD

Sverige har en lång tradition av att använda energi från berg, jord och grundvatten – så kallad geoenergi. I dag finns drygt en halv miljon geoenergianläggningar i Sverige, varav de allra flesta är mindre anläggningar med värmepump för uppvärmning av en- och två-familjshus. Det finns även många anläggningar som förser större fastigheter med värme och kyla, med eller utan värmepump, såväl som anläggningar för att lagra energi. Det gör Sverige till en av de tre största användarna av geoenergi i världen.

För att installera en geoenergianläggning krävs minst en anmälan till kommunens miljökontor. Regler och handläggning av anmälningar och ansökningar om tillstånd att installera värmepump kan dock skilja sig åt mellan olika kommuner. Till viss del kan det bero på att förutsättningar skiljer sig åt mellan kommuner. Men det kan också bero på osäkerhet i hur ärendena ska hanteras på grund av att det saknas vägledning och kunskap om vad som ska bedömas i ärenden rörande geoenergianläggningar.

För att jämna ut kunskapsläget och underlätta för kommunernas handläggare, har Borr företagen i Sverige tillsammans med Svenskt Geoenergicentrum, Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Svenska kyl och värmepumpföreningen (SKVP) sammanställt denna guide för handläggare som hanterar anmälningar och ansökningar om tillstånd att installera värmepump. Guiden handlar främst om slutna geoenergisystem med borrhål och baseras på vanliga frågor som har ställts av handläggare till de fyra organisationerna under årens lopp. Den överblickar gällande lagar och regler och innehåller information om geologi, hydrologi, värmepumpsteknik och borrhning för geoenergi som ett stöd för tillståndshandläggare. En del av informationen är inte direkt kopplad till handläggningen, men finns med för att ge en bredare förståelse av branschen och av hur systemen konstrueras. I guiden ges även hänvisningar till källor där man kan hämta mer information.

Guiden har tagits fram av en arbetsgrupp bestående av Pär Malmborg och Mattias Gustafsson (Borr företagen), Signhild Gehlin (Svenskt Geoenergicentrum), Mikael Erlström och Jakob Levén (Sveriges geologiska undersökning), Joakim Hjulström (Sweco) samt Viktor Ölen (Svenska kyl och värmepumpföreningen). Ett särskilt tack till Altea AB som har bidragit med kunskap och värdefulla synpunkter om lagar och regler.

INTRODUKTION TILL GEOENERGI

Geoenergi är ett samlingsbegrepp för tekniker som utvinner och lagrar värme och kyla i marken. Flera olika typer av tekniker räknas in i begreppet geoenergi. Gemensamt för dessa är att de använder jord, berg, grundvatten och ytvatten som källa för värme och kyla. Några exempel är yttjordvärme/kyla, bergvärme/kyla, grundvattenvärme/kyla, sjövärme/kyla, borrhålslager (Borehole Thermal Energy Storage, BTES), akviferlager (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES), energipålar, grop- och bergrumslager (Pit Thermal Energy Storage, PTES resp. Cavern Thermal Energy Storage, CTES) som alla nyttjar solvärme i markens översta hundratal meter eller aktivt lagrad spillvärme. Djupgeotermi är ett specialfall som nyttjar värme från jordens inre och radioaktiva sönderfall i jordskorpan från kilometerdjupa brunnar.

I Sverige utgör anläggningar med borrhål i berggrunden den stora merparten av alla geoenergianläggningar, följt av anläggningar för yttjordvärme. Grundvatten- och ytvattensystem utgör en mindre andel

av anläggningarna, medan det bara finns ett fåtal anläggningar med energipålar i Sverige. Grop- och bergrumslager samt djupgeotermiska projekt är storskaliga infrastrukturella system som ställer helt andra krav på förundersökningar och tillstånd än de vanliga geoenergianläggningarna.

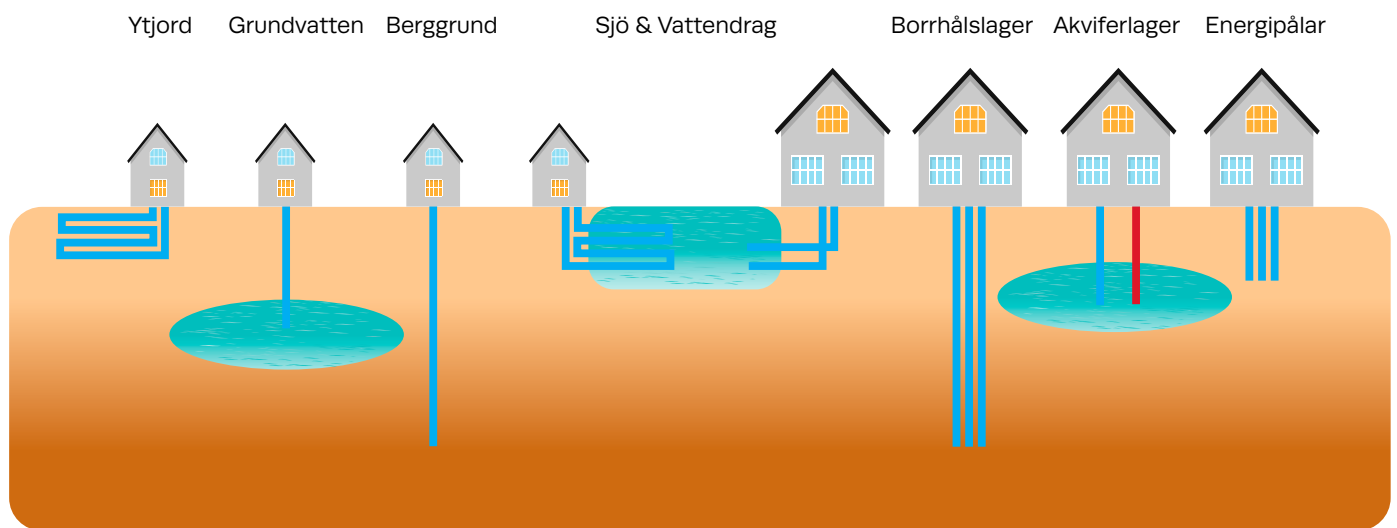
Den här skriften har främst fokus på geoenergianläggningar med borrhål i berggrunden, det vill säga bergvärme och borrhålslager, men en hel del av innehållet är generellt tillämplbart även på andra typer av geoenergi.

Geoenergi med slutna system

Borrhål i berggrunden

Den allra vanligaste typen av geoenergi i Sverige är vertikala eller något vinklade borrhål i berggrunden för uttag av värme och/eller kyla. Borrhålen är omkring en decimeter i diameter och typiskt 100–300 meter djupa.

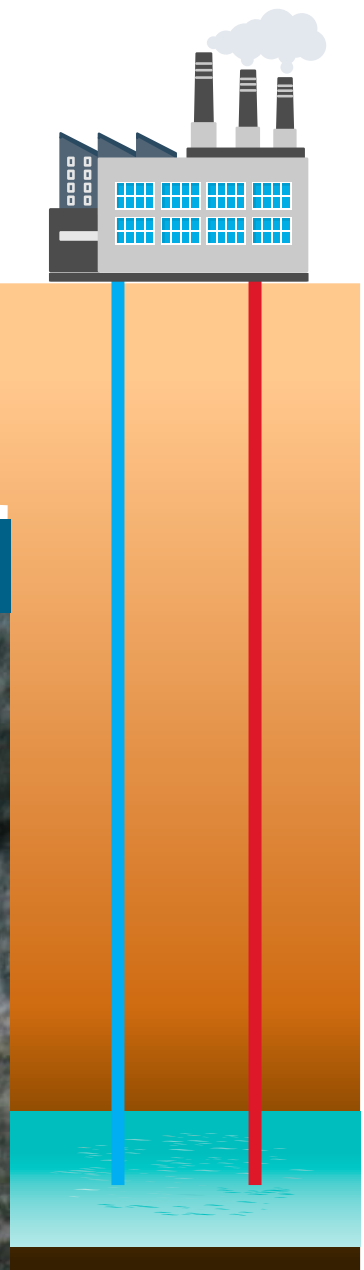




Bergrums- & grop lager

Djupgeotermi

FIGUR 1 Geoenergi är ett samlingsbegrepp för olika tekniker som nyttjar jord, berg, ytvatten och grundvatten för utvinning och lagring av värme och kyla. *Illustration: Svenskt Geoenergicentrum*





Borrhålen förses med en slanginstallation, så kallad kollektor, där en köldbärare cirkuleras i en sluten krets. Köldbäraren är i de flesta fall en blandning av etanol och vatten med ett denatureringsmedel, men även andra köldbärare förekommer undantagsvis.

Borrhålen är vanligtvis, men inte alltid, kopplade till en värmepump. Ett typiskt borrhål för ett enfamiljshus är 100–200 meter djupt och slangen innehåller cirka 250–500 liter köldbärare.

Borrhålen är vanligen fyllda med grundvatten, men i särskilda fall är det motiverat att täta borrhålen helt eller delvis, se "Återfyllning och tätning av borrhål" sid 38.

Typiskt sett bör köldbärarens medeltemperatur inte understiga -4°C under årets allra kallaste dagar. Systemen utformas vanligtvis för att hålla något högre köldbärartemperaturer än så.

Energipålar

För byggnader som behöver pålas för en stabil grundläggning finns möjligheten att integrera slangar för värmeväxling i pålarna. Tekniken är ovanlig i Sverige men förekommer i flera andra länder. Grundläggningsspålar är vanligtvis något till några tiotal meter djupa, några decimeter i diameter, och gjorda i betong eller metall. Slanginstallationerna för värmeväxlarna är slutna slingor med en cirkulerande köldbärare. För att säkra grundläggningens funktion är det viktigt att köldbäraren inte tillåts bli så kall att marken fryser runt pålarna.

Ytjord

Ytjordslingor är horisontella plastslangar (kollektorer) som läggs i lösa marklager någon meter under markytan i slingor med minst en meters avstånd i en sluten krets. För att inte riskera att slangarna tar skada till följd av belastning eller åverkan är det viktigt att de inte läggs för ytligt.

För ett enfamiljshus brukar det behövas cirka 200–500 meter slang. Slangarna fylls vanligen med samma typ av köldbärare som används i bergvärmesystem. Köldbärartemperaturen tillåts ofta gå ner till -5°C så att det bildas ett islager runt slangarna. På så vis ökar värmeväxlarytan och systemet drar även nytta av den extra värme som frigörs då vatten omvandlas till is.

Det är viktigt att tänka på att slingorna inte läggs för nära tomtgräns, husgrund eller vatten/avloppsled-

ningar. Vi rekommenderar ett säkerhetsavstånd på minst 1,5 meter för att undvika att vatten som fryser runt ledningarna påverkar närliggande installationer. Anläggningen bör heller inte ligga närmare en vattentäkt än 20 meter, på grund av risken för läckage från kollektorerna. Om kollektorerna läggs i så kallade tjälfarliga jordar med hög halt av silt och lera, bör man vara försiktig eftersom tjälen kan leda till sättningar. Jordlagret bör vara minst 1,5 meter tjockt över hela lägningsytan för att inte riskera problem vid förläggningen eller ett försämrat värmeutbyte.

Ytvatten

Vatten i sjöar, havsvikar och vattendrag kan användas för uttag av värme och kyla med hjälp av en sluten horisontell plaströrsslinga (kollektor) som läggs i bottenskiktet. Slangarna fylls med samma typ av köldbärare som övriga system, bioetanol och vatten med ett denatureringsmedel.

Temperaturen i köldbäraren tillåts vanligen gå ner under noll grader så att det bildas is runt slangarna. Precis som vid ytjordsystem ökar då värmeväxlarytan och systemet kan även dra nytta av den extra värme som frigörs då vatten omvandlas till is. Eftersom vatten är som tyngst vid $+4^{\circ}\text{C}$ kommer temperaturen runt slangarna att vara över noll grader även på vintern, så länge vattnet inte bottenfryser.

Det är viktigt att tänka på att slangarna förankras ordentligt i botten, eftersom köldbärare, slang och eventuell omgivande is är lättare än vatten och slangarna annars riskerar att flyta upp. Det bör även tydligt anges att det är förbjudet att ankra i området. Ytvattensystem med sluten slinga utgör inte vattenverksamhet, eftersom inget vatten tas ut från systemet. Ytvattensystem kan även utföras som öppna system, se nästa avsnitt.

Geoenergi med öppna system

Grundvatten & akviferer

Grundvatten är en utmärkt källa för uttag av värme och kyla i öppna system. En eller flera grundvattenbrunnar borrar till en vattengenomsläpplig formation (akvifer) där vattenflödet är tillräckligt. Där monteras en dränkbar pump, varpå grundvattnet pumpas upp och passerar en värmeväxlare. Därefter återförs det till grundvattenmagasinet genom en annan brunn, i övre delen av samma brunn eller genom infiltration i marken. Om akviferen består av lösa sediment monteras även ett brunnsfilter för att förhindra att partiklar följer med vattnet upp.

För en- och tvåfamiljshus krävs ingen miljödom, utan anläggningen räknas som värmepumpsanläggning. För större fastigheter räknas grundvattenvärme/kyla och akviferlager som vattenverksamhet och kräver miljödom.

Ytvatten

Vatten i sjöar, havsvikar och vattendrag kan också användas för uttag av värme och kyla i öppna system. Vattnet pumpas då genom ett filter och i ett rör till en värmeväxlare, varpå det återförs till ett annat ställe i ytvattentäkten vid en annan temperatur. Denna typ av ytvattenvärmesystem räknas som vattenverksamhet och kräver miljödom. Undantag görs för en- och tvåfamiljshus, där öppna ytvattenvärmesystem inte kräver miljödom utan räknas som värmepumpsanläggning.

Storskaliga system

Grop- och bergrumslager och djupgeotermi används för storskaliga system och är vanligen en del av systemlösningen i någon form av fjärrvärmenät. De används sällan eller aldrig för enskilda fastigheter. Tillståndprocesser och förundersökningar för sådana anläggningar är betydligt mer komplicerade och ingående i jämförelse med övriga geoenergitekniker och bedöms vanligtvis av länsstyrelserna.

Grop- och bergrumslager

Vattenfyllda gropar eller utsprängda bergrum kan användas för storskalig säsongslagring av värme och kyla i till exempel termiska nät och i anslutning till industrier. Groplager anläggs vanligen på platser med gynnsamma jordlagerförhållanden. Groparna kläs in med en liner och ett isolerat toppskikt.

Bergrum kan antingen vara utsprängda just för säsongslagring av värme, avvecklade bergrumslager för olja eller nedlagda gruvor. Värmeenergin kommer till exempel från solvärme, spillvärme eller överskottsvärme från värme- och kraftvärmeverk.

Djupgeotermi

Uttag av geotermisk värme görs ur borrhål till stora djup för att användas direkt, med eller utan värmepump, eller för att producera el, beroende på temperaturnivå. Effektuttagen är vanligtvis från några hundra kilowatts effekt till tiotals megawatt. Temperaturen i den svenska berggrunden ökar med djupet, den så kallade geotermiska gradienten, vanligtvis

cirka 15 °C per kilometer. I Skåne och på Gotland är gradienten kring 30 °C per kilometer beroende på mäktiga lager med sedimentär berggrund.

Det betyder att om man vill direktväxla värmen till ett fjärrvärmenät utan hjälp av värmepump behöver man borra till mellan fem och sju kilometers djup. Det förutsätter även att man kan cirkulera vatten via två eller flera borrhål i en vattenförande formation (sandsten), sprickzoner eller uppsprucken berggrund.

Tekniken utvecklas internationellt för att kunna borra multihålsystem till stora djup i tät berggrund. Där överförs värmen på liknande sätt som i de ytliga bergvärmesystemen. Det finns även en internationell marknad med enkelbrunnssystem till flera kilometers djup. Där tas varmt vatten upp från den undre delen av borrhålet, värmeväxlas och återförs avkyllt till den övre delen av samma borrhål.

I Sverige har hittills (2024) endast en djupgeotermisk anläggning byggts. Denna finns i Lund och har sedan mitten av 1980-talet bidragit med uppemot 40 megawatt värme till fjärrvärmenätet genom att med värmepumpar använda 20-gradigt vatten från en sandstensakvifer på 600–800 meters djup.

LAGAR OCH REGLER

Anmälan eller tillståndsansökan?

I Sverige är det anmälningspliktigt att installera en geoenergianläggning med värmepump enligt förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd¹. Enligt förordningen ska anmälan ske till den kommunala nämnden, men i praktiken hanteras anmälningarna oftast av kommunens avdelning för miljö- och hälsoskydd (till exempel miljökontoret/miljöförvaltningen). I vissa fall kan kommunen besluta att det i stället ska råda tillståndsplikt. Det görs typiskt i områden där det finns mycket underjordisk infrastruktur, där det är brist på sött grundvatten eller där det är extra viktigt att grundvattnet skyddas, exempelvis i vattenskyddsområden.

Det skiljer mycket i hur värmepumpsanmälningar handläggs i olika kommuner. Detta är delvis kopplat till om det råder tillstånds- eller anmälningsplikt, men framför allt tycks skillnaderna bero på att förutsättningarna är så olika i glesbygd och storstadsområden. Kommunens handläggning måste förstås anpassas efter de intressen som finns på platsen, oavsett om det är närliggande energi- och vattenbrunnar, ledningar i mark, kulvertar, konstruktioner och tunnlar, kommunala vattentäkt, förorenad mark eller skyddade naturområden. Det kan också vara motiverat att ställa olika krav på innehållet och detaljgraden i anmälan eller ansökan för att det ska gå att bedöma vilka risker som finns.

Oavsett om anmälnings- eller tillståndsplikt råder sker handläggningen i stort sett efter samma lagstiftning, vilken vi går igenom i detta kapitel.

Anmälningsplikt

Vid anmälningsplikt får arbetet påbörjas tidigast sex veckor efter att anmälan gjorts, om inte tillsynsmyndigheten (kommunen) har meddelat något annat. Även om kommunens beslut dröjer längre än så bör sökanden invänta kommunens beslut. Kommunen kan nämligen besluta om särskilda försiktighetsåtgärder och krav på utförandet som sökanden måste

följa. Om det finns särskilda skäl kan den kommunala nämnden/förvaltningen även besluta att anläggningen inte får byggas. Att påbörja arbetet utan att en anmälan har gjorts är förenat med en sanktionsavgift.

Tillståndsplikt

I ett område med tillståndsplikt är ofta handläggningstiden något längre, eftersom det kan tillkomma moment som annars inte brukar behöva utföras. De tillkommande momenten är ofta kopplade till varför man har valt att ha tillståndsplikt.

Om borrhålen till exempel ligger i ett vattenskyddsområde finns alltid skyddsföreskrifter att beakta. Handläggningstiden kan därför bli längre på grund av att ärendet behöver remitteras till områdets huvudman och att kommunen behöver bedöma risken för att anläggningen ska påverka vattentäkten. I en storstad kan det handla om att kontrollera vilken underjordisk infrastruktur som finns i området. Det kan vara svårt för en sökande att själv kontrollera om den här typen av hinder finns på platsen, dels för att det är många olika verksamheter som behöver kontaktas, dels för att det kan röra sig om känslig information. Information om ledningar i marken finns på webbplatsen ledningskollen.se. Man bör dock tänka på att informationen därifrån inte alltid är heltäckande för alla typer av ledningar.

Om tillståndsplikt råder är det alltid förbjudet att påbörja arbetet utan tillstånd. Sökanden kan annars bli skyldig att betala en sanktionsavgift. Att bryta mot ett villkor som ställts i ett tillstånd kan vara förenat med åtal.

Ett tillstånd ger en större rättskraft än en anmälan. Det blir svårare för en tillsynsmyndighet att ställa ytterligare krav på värmepumpsanläggningen eller förbjuda den när ett tillstånd redan har getts, jämfört med om anläggningen bara har anmälts.

¹ Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd

Lagar som påverkar geoenergianläggningar

Miljöbalken

Den svenska miljöbalken² (MB) reglerar allmänt lagkraven för alla typer av konstruktionsarbeten som inbegriper installationer i grundvatten och ytvatten. Därmed regleras lagkraven för den som avser att installera ett geoenergisystem. Miljöbalken utgör ett omfattande regelverk med många krav och förpliktelser som reglerar både myndigheters tillsynsansvar, arbetens utförande och verksamhetsutövarens ansvar.

I princip alla typer av konstruktioner som avleder grundvatten är tillståndspliktiga genom miljödom, enligt miljöbalkens kapitel 11. Det finns ett fåtal undantag, exempelvis för husbehov av dricksvatten och värme till en- och tvåfamiljshus. Inte heller större bergvärmeanläggningar behöver miljödom, eftersom inget grundvatten hämtas ur marken.

Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd³

I den här förordningen anges specifikt att alla typer av markvärmepumpsystem med borrhål eller brunnar upp till en viss storlek måste anmälas till den kommunala nämnden före installation. Kommunen kan besluta att installationen inte är tillåten av miljö- eller hälsoskäl, eller ange särskilda krav på installationen i delegationsbeslutet. Typiska sådana krav kan vara att borrararen ska vara certifierad och att borrhålen ska utföras enligt Normbrunn -16.

Miljöprövningsförordningen

För mycket stora värmepumpsanläggningar, med en effekt som överstiger tio megawatt uttagen eller tillförd effekt från mark, vattenområde, grundvatten eller avloppsvatten, råder istället anmälningsplikt (C-anmälan) enligt miljöprövningsförordningen⁴. Detsamma gäller anläggningar för lagring av värme i mark, där den totala energimängden som tillförs till mark, vattenområde eller grundvatten överstiger 3 000 MWh per år.

Vattenskyddsområden

Havs- och vattenmyndigheten har gett ut en vägledning om vattenskyddsområden, utifrån bland annat miljöbalken (MB, kapitel 7). Vägledningen riktar sig till dem som arbetar med att instifta vattenskyddsområden och ger råd om hur området bör utformas och vilka föreskrifter som bör gälla.

Varje vattenskyddsområde har egna skyddsföreskrifter som beslutas av länsstyrelsen eller kommunen. För att veta vad som gäller för geoenergisystem i ett vattenskyddsområde måste områdets föreskrifter konsulteras. Det är vanligt att värmepumpsanläggningar med borrhål inte får anläggas i vattentäktzonen eller i den primära (inre) skyddszonen. Ibland finns undantag till detta. Det kan exempelvis vara när vattentäkten hämtar sitt vatten från jordlagren eller om extra åtgärder vidtas för att minska konsekvenserna av att köldbäraren eventuellt skulle läcka.

I den sekundära (yttre) och tertiära zonen är det vanligt att det krävs tillstånd. Ofta ställs särskilda skyddskrav, som skärpt övervakning eller att borrhålen tätas genom återfyllning av hela eller delar av borrhålet.

För mer information om borrhåll i vattenskyddsområden, se även stycket "Områden där speciell hänsyn bör tas vid borrhåll, borrhåll inom vattenskyddsområden och vid förorenad mark" på sidan 34.

Brunnsregistrering

Sedan mitten av 1970-talet är det ett lagkrav⁵ att brunnsbörare ska rapportera samtliga borrade vatten- och energibrunnar i SGU:s brunnsarkiv.

Arbetsmiljöskydd

Arbetsmiljöverkets författningssamling innehåller ett antal föreskrifter och allmänna råd med AFS-beteckningar⁶ som reglerar arbetsmiljön.



² Miljöbalk (1998:808)

³ Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd

⁴ Miljöprövningsförordning (2013:251)

⁵ Lag (1975:424) om uppgiftsskyldighet vid grundvattentäktundersökning och brunnsborrning

⁶ https://www.av.se/imagevault/publishedmedia//m14t43lfnms-1vyb4365z/AV-Regeloversikt-Oversikt_Markering_SAM.png



Konsumenträtt

Konsumenttjänstlagen⁷ reglerar privatpersoners rättigheter när de köper en tjänst eller vara från ett företag, till exempel en värmepump eller värmepumpinstallation.

Boverkets byggregler

I Boverkets byggregler (BFS 2020:4 – BBR 29)⁸ regleras bland annat hur mycket energi en byggnad får använda för uppvärmning och kyla. Geoenergi räknas där som "elektrisk uppvärmning", vilket har striktare regler än andra alternativ som biomassa och fjärrvärme. Bara elen till värmepumpen räknas in. Den förnybara energin från marken räknas inte med i byggnadens energianvändning utan betraktas som en energibesparing.

F-gasförordningen

F-gasförordningen⁹ reglerar vilka köldmedier som får användas, vem som får installera och hantera köldmedier i exempelvis värmepumpar för geoenergisystem samt hur och hur ofta dessa installationer måste inspekteras. Installationer med mer än 14 ton koldioxidkvivalenter är anmälningspliktiga enligt denna förordning.

Brandfarliga varor

Enligt gällande lagstiftning¹⁰ kräver större värmepumpsanläggningar tillstånd avseende hantering av brandfarliga varor. Tillståndet söks hos Räddningstjänsten. För att få tillstånd krävs bland annat att en utbildad föreståndare för brandfarliga varor utses för anläggningen.

Därtill måste anläggningar där brandfarliga vätskor hanteras följa brandskyddslagstiftningen^{11, 12}

Elinstallationsföretag

Elinstallationer på någon annans anläggning får endast utföras av registrerade elinstallationsföretag¹³. Vilka företag som är registrerade går att se på Elsäkerhetsverkets hemsida.

Lokala förutsättningar och regler

Lokala och regionala miljömyndigheter kan anta lokala regler utifrån de lokala förutsättningarna, huvudsakligen för grundvattenskydd, hälsoaspekter och skydd mot skador av olika slag. Reglerna kan utgå från kommunens lokala regler för skydd av miljö och hälsa, eller från de krav och instruktioner som anges i kommunens beslut och tillstånd. Exempel på sådana lokala krav kan vara att borrhål återfylls (grouting) på vissa platser, tillstånd i vattenskyddsområden eller speciella åtgärder för att hantera borrhatten och borrhax. Denna typ av lokala regler varierar i allmänhet stort mellan kommuner och regioner, vilket ibland orsakar otydlighet och omotiverade skillnader i tillståndsgivning.

Skillnader i krav kan vara motiverade på grund av lokala förutsättningar vid borrhåtsplatsen. Men det är viktigt att det finns en samsyn bland tillsynsmyndigheterna om hur de ska bedöma geoenergisystemens miljöpåverkan. Det kan annars försvåra arbetet för utförarna, till exempel genom att regelverket blir oförutsägbart eller att konkurrensen blir snedvriden på grund av bristande likabehandling.

Kommunen har ofta tillgång till information som kan vara svår att nå för entreprenörerna. Det är därför värdefullt för utförarna om tillsynsmyndigheten kommunicerar vilka särskilda förutsättningar som behöver beaktas vid den aktuella borrhåtsplatsen, i samband med att ärendet handläggs.

⁷ Konsumenttjänstlag (1985:716)

⁸ Om Boverkets byggregler

⁹ Förordning (2016:1128) om fluorerade växthusgaser

¹⁰ Lag (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor

¹¹ MSBFS (2013:3) föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor

¹² Förordning (2010:1075) om brandfarliga och explosiva varor

¹³ ELSÄK-FS (2017:3) om elinstallationsföretag och om utförandet av elinstallationsarbete

Råd, regler och riktlinjer för geoenergianläggningar

Svensk kylnorm

Svensk kylnorm¹⁴ ges ut av Svenska kyl och värme-pumpföreningen (SKVP). Den ger en samlad bild av de säkerhetskrav olika myndigheters föreskrifter ställer beträffande konstruktion, installation, drift och underhåll av kyl- och värmepumpanläggningar, samt vad som anses vara god praxis inom branschen. Kylnormen består av fyra grunddelar, en samling med faktablad samt en förteckning över aktuella regler. Den anpassas successivt till den gemensamma eu-ropeiska CEN-standarderna.

Normbrunn -16

Normbrunn -16 – Vägledning för att borra brunn¹⁵, ger råd om hur brunnar avsedda för uttag av vatten respektive energi ska utformas och installeras för att skydda grundvattnet. Normbrunn har funnits i reviderade versioner sedan 1990-talet. Vägledningen ges ut av SGU, som har arbetat fram den i samarbete med geoenergibranschens aktörer.

Enligt normbrunnsprincipen ska de översta sex metrarna av brunnen och minst två meter in i fast berggrund alltid vara försedd med ett permanent foderrör i stål med svetsade skarvar. Den nedersta delen mellan foderröret och berggrunden ska tättas för att undvika att jord, bergmaterial eller ytligt liggande grundvatten tränger in i brunnen. Tätningen görs vanligtvis med cement.

Kollektorslangarna ska fyllas med köldbärarvätska och provtryckas innan de sänks ner i borrhålet. Även efter installationen ska slangarna provtryckas i borrhålet. Ibland provtrycks brunnen med vatten, men det innebär praktiska problem. Att provtrycka med

luft är mer riskfyllt ur arbetsmiljösynpunkt och kräver ackreditering som brunnborrare i regel inte har.

Normbrunn -16 ger också vägledning om vilka köldbärare som rekommenderas, vilka avstånd som bör hållas till närmaste byggnad, andra brunnar och till tomtgräns, samt vilka material och metoder som bör användas.

Tekniska råd och riktlinjer

Svenskt Geoenergicentrum har gett ut ett antal råd och anvisningar¹⁶ gällande geoenergisystem:

- Råd och anvisningar för förläggning av kollektorer i geoenergisystem – Riktlinjer för mindre anläggningar.
- Råd och anvisningar för förläggning av kollektorer i geoenergisystem – Riktlinjer för större anläggningar.
- Råd och anvisningar om återfyllning av energibrunnar.
- Riktlinjer för termisk responstest (TRT).
- Riktlinjer för mätning och uppföljning av geoenergisystem.
- Råd och anvisningar – Entreprenader för större system med energibrunnar.

Svenska kyl och värmepumpföreningen (SKVP) har tillsammans med Bostadsrätterna, Fastighetsägarna, HSB, SABO och Riksbyggen utarbetat gemensamma villkor för totalentreprenader av värmepumpar i fastigheter (GTVF 14)¹⁷. För större anläggningar används oftast de allmänna materialanvisningarna (AMA) som ges ut av AB Svensk Byggtjänst.

¹⁴ Om Svensk kylnorm

¹⁵ Normbrunn -16 Vägledning för att borra brunn

¹⁶ Svenskt Geoenergicentrums råd och anvisningar

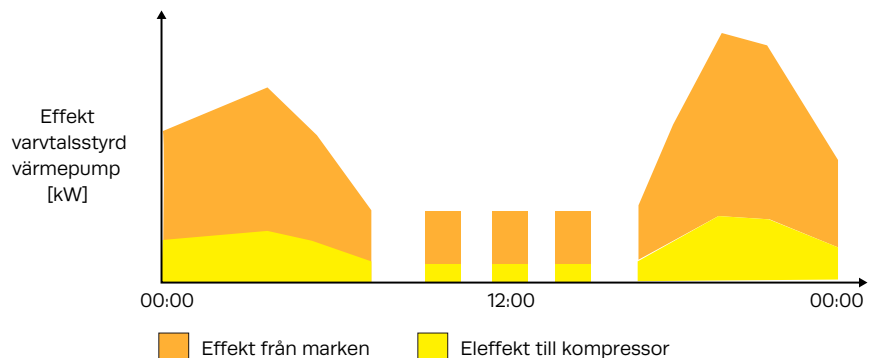
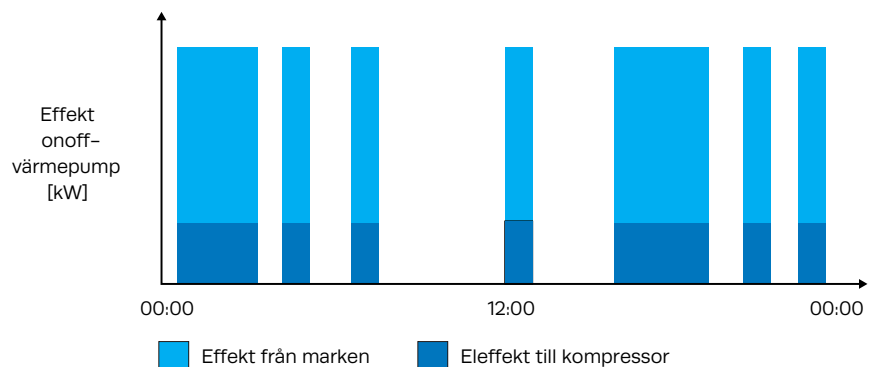
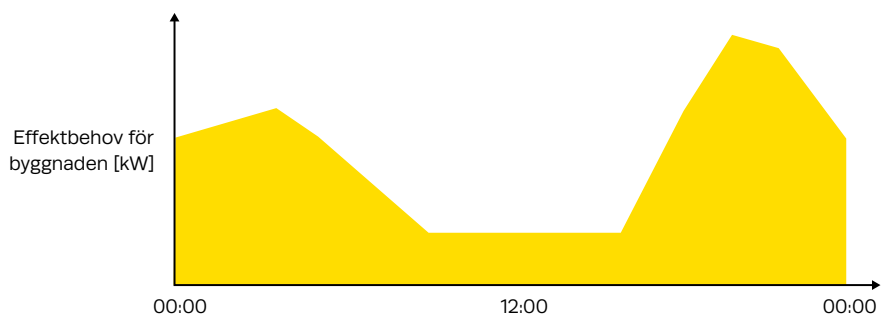
¹⁷ Gemensamma villkor för totalentreprenader av värmepumpar i fastighet

VÄRMEPUMPEN

De flesta, men inte alla, geoenergianläggningar i Sverige innehåller en eller flera värmepumpar. Värmepumpen gör det möjligt att nyttja lågvärdig värme från till exempel luft, vatten och mark, genom att med hjälp av en kompressor höja temperaturen. Samma teknik kan även användas för att sänka temperaturen och förse en fastighet med kyla. Aggregatet kallas då i stället för en kylmaskin. Ofta är det dock möjligt att täcka större delen av en byggnads behov av komfortkyla med så kallad frikyla, direkt från marken, utan att använda en kylmaskin.

Värmepumpar kan vara on-off-reglerade eller varvtalsstyrda (varvtalsreglerade). I den traditionella onoff-reglerade värmepumpen kan kompressorn bara köras med en fast hastighet och därmed varvtal. Antingen går den på full effekt eller så står den stilla. Värmepumpens leverans av värme regleras genom värmepumpens drifttid under ett dygn. När det är som kallast ute behöver värmepumpen vara i drift hela tiden. Räcker inte värmepumpens effekt till kopplas spetsvärme in, vilket oftast är en elektrisk värmare.

Varvtalsreglerade värmepumpar använder så kallad inverterteknik. Den innebär att kompressorns hastighet, det vill säga varvtal, kan varva upp eller varva ner så att den utgående effekten hela tiden anpassas till det för stunden aktuella värmebehovet. Det är fördelaktigt att värmepumpen täcker så stor del av effektbehovet som möjligt, eftersom detta minskar behovet av spetsvärme.



FIGUR 2 Princip för driftmönster för onoff-reglerad respektive varvtalsstyrd värmepumpsdrift.

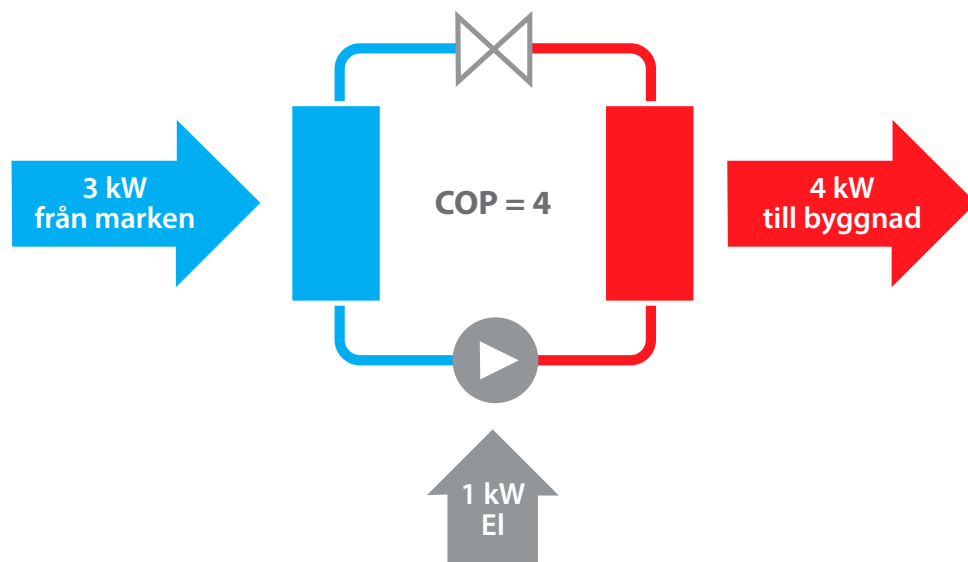
Verkningsgrad för värmepumpar och system

När man jämför olika värmepumpsmodeller är det viktigt att ta hänsyn till den last, det vill säga effekt, de ska leverera och vid vilka temperaturområden de ska jobba. Detta görs enklast genom att studera värmepumpens energimärkning där årsmedelvärmefaktorn (SCOP, se nedan) framgår för olika driftfall.

En värmepumps effektivitet anges ofta med en värmefaktor, COP (Coefficient of Performance), som definieras som förhållandet mellan värmeeffekten som kunnat användas från värmepumpen och den driveffekt som värmepumpen kräver. Alltså levererad värme dividerat med värmepumpens elförbrukning. Ju mindre el som behövs för kompressorns arbete i förhållande till den värmeeffekt som värmepumpen ger ifrån sig, desto högre COP.

COP för värmepumpar anges som momentanvärden under standardiserade temperaturer, och fungerar för att jämföra olika värmepumpsmodeller. COP säger dock inte så mycket om hur en installerad värmepump fungerar i drift, där temperaturer skiljer sig från laborieförhållandena och dessutom varierar mycket under årets drifttimmar.

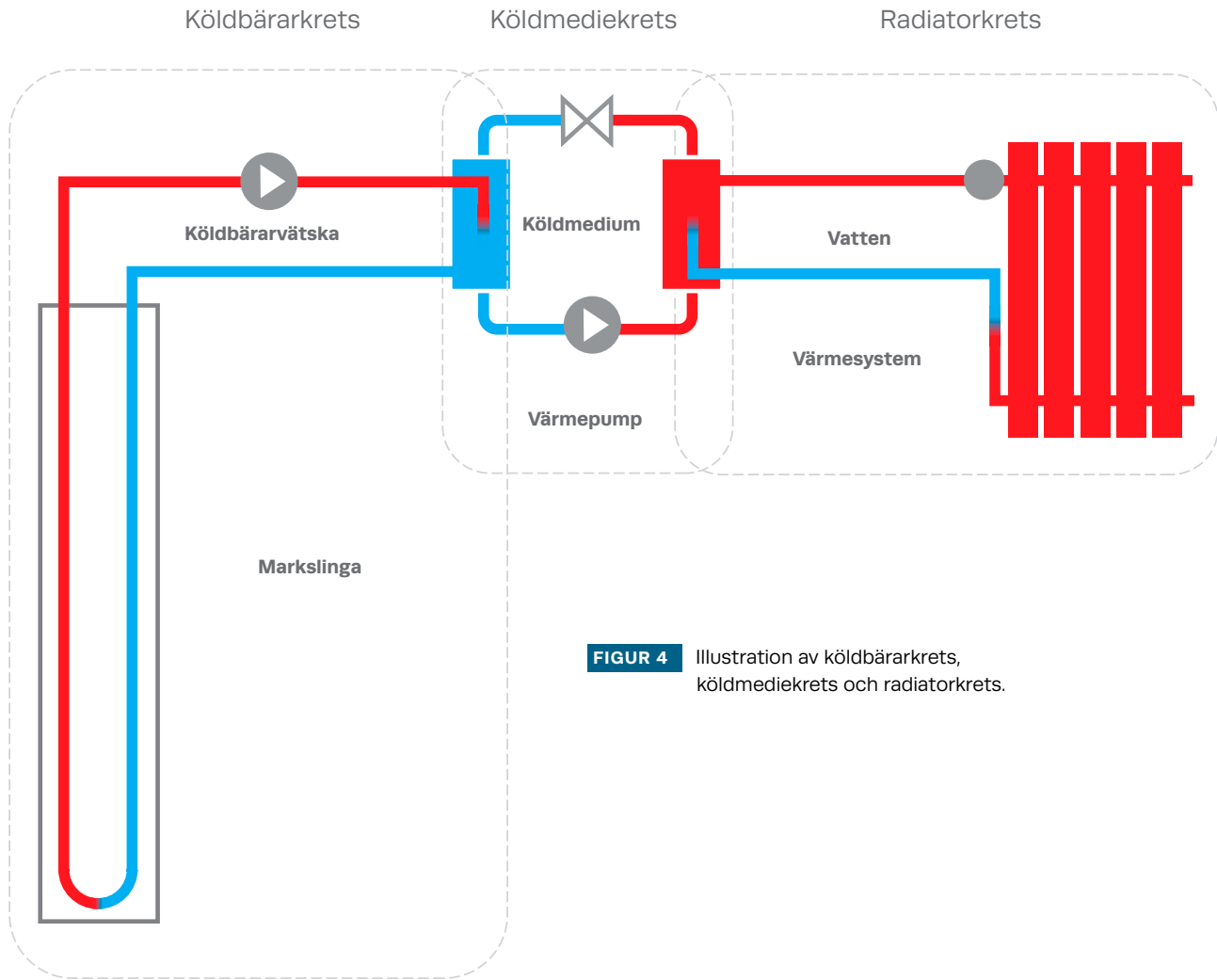
För att jämföra hur olika värmepumpsmodeller fungerar under olika standardiserade laborieförhållanden som anses representativa för en normal årscykel, används godhetstalet SCOP (Seasonal Coefficient of Performance, årsmedelvärmefaktor). Värdet för



FIGUR 3 Exempel på COP för en värmepump. Ett COP på 4 innebär att 4 kilowatt värme levereras till byggnaden för varje kilowatt el till kompressorn.

SCOP som anges i databladet blir därmed ett medelvärde för COP över denna standardiserade årscykel för värmepumpen.

Ett mått på hur själva värmepumpssystemet fungerar under ett års drift är SPF (Seasonal Performance Factor). Det anger förhållandet mellan värmepumpens levererade energi och den energi som krävs för att leverera energin under ett helt år. SPF kan anges för olika delar av värmepumpssystemet, till exempel för bara själva värmepumpsenheten, eller för hela värmepumpssystemet med markvärmeslingor, cirkulationspumpar, radiatorsystem och eventuell spetsvärme som ingår. Det förekommer dock att termerna SPF och SCOP används synonymt.



FIGUR 4 Illustration av köldbärarkrets, köldmediekrets och radiatorkrets.



Köldbärare och köldmedier

Ett slutet geoenergisystem består av tre olika slutna kretsar med olika cirkulerande medier: köldbärarkretsen mellan marken och värmepumpens förångare, köldmediekretsen inuti värmepumpen, och värmedistributionskretsen mellan värmepumpens kondensor och byggnadens radiatorer/konvektorer, se figur 4.

Köldbärare

Den vätska som cirkulerar i markvärmeväxlaren kallas för köldbärare. Den har till uppgift att föra över värme från marken till värmepumpens förångare. I Sverige är köldbäraren vanligtvis en frysskyddad vätskeblandning som består av vatten och etanol, med en tillsats av denatureringsmedel. Precis som med annan teknisk sprit denatureras etanolen för att den inte ska gå att dricka. Vanligen används isopropanol eller isobutanol.

Koncentrationen av etanol ska vara tillräcklig för att vätskan inte ska bli för trögflytande när det är som kallast i marken eller frysa när värmepumpen står

still. Ibland, framför allt i andra länder än Sverige, används andra köldbärare som propylenglykol, etylenglykol, kaliumkarbonat eller andra köldbärarblandningar med specifika produktnamn och egenskaper. I geoenergianläggningar där temperaturen i köldbärarkretsen aldrig riskerar att gå under noll grader (till exempel högtemperaturlager) kan man använda vatten som köldbärare.

Etanolen har flera fördelar som bidragit till dess popularitet som köldbärare. Den har goda termiska egenskaper, är relativt lätt att pumpa, har låg korrosivitet, klassas inte som giftig eller miljöskadlig och har kort nedbrytningstid i naturen. Skulle den läcka ut är den främsta risken en eventuell smakpåverkan på närliggande vattentäkter från denatureringsmedlet. Det är också en vätska som inte är särskilt dyr att framställa och som det finns gott om på marknaden.

Lägsta temperatur på köldbäraren beror på dimensionering, omgivande faktorer och val och koncentration av köldbärare. Värmefaktorn hos värmepumpen (COP) minskar med ett högre temperaturlyft vilket

till exempel en lägre förångartemperatur kan ge. Köldbärarens medeltemperatur bör helst inte understiga -4°C under årets kallaste dagar. I Sverige är borrhålen vanligen fyllda med grundvatten. Vid så kall temperatur under en längre tid brukar grundvattnet i borrhålet frysa. Värmepumpen arbetar inte särskilt effektivt vid så låga temperaturer och därför utformas systemen vanligtvis för att köldbäraren ska hålla något högre temperaturer än så.

Geoenergisystem av alla storlekar har normalt funktioner som larmar och automatiskt slår ifrån om köldbärarkretsen skulle läcka. Värmepumpen har i regel så kallade pressostater som larmar och blockerar inbyggda cirkulationspumpar.

I lite större system ingår ofta köldbärarpumpar som inte är kopplade till värmepumpen. Sådana system bör utrustas med tryckmätning, larm och styrfunktioner som blockerar köldbärarpumpens drift om trycket i köldbärarkretsen faller. Hur mycket köldbärarvätska som riskerar att läcka ut beror på köldbärarkretsens storlek, samt läckans placering och höjd i förhållanden till köldbärarkretsen.

Köldmedier

En värmepump består i sin enklaste form av en sluten krets med en förångare, en kompressor, en kondensor och en expansionsventil. Arbetsmediet som cirkulerar inuti värmepumpen kallas köldmedium. I förångaren övergår köldmediet från flytande form till gasform medan det fångar upp värme vid låg temperatur. I kondensorn återgår köldmediet från gas till vätskeform när det släpper av värme vid en högre temperatur.

Huvudtyperna av dagens köldmedier är syntetiska köldmedier där HFC och HFO ingår. HFC-köldmedier har hög klimatpåverkan. HFO-köldmedier omvandlas ofta till trifluorättiksyra (TFA) i naturen. Det är en stark syra som försurar grundvattnet och är en så kallad PFAS som har lång nedbrytningstid. Läckage av köldmedier från värmepumpsanläggningar för geoenergi är ovanligt. Men för att undvika negativa miljökonsekvenser om det sker, går utvecklingen mot att välja naturliga köldmedier där det är möjligt. Propan, isobutan, koldioxid och ammoniak är bland de mest använda naturliga köldmedierna. På webbplatsen alltomfgas.se finns fördjupande och uppdaterade information om gällande regelverk.



HUR MYCKET KÖLDBÄRARE FINNS I ETT SYSTEM?

Slangarna i ett geoenergisystem är vanligen 40, 45 eller 50 mm grova. För att få en uppfattning av hur stor köldbärarmängd som finns i ett system innehåller en 40 mm slang ungefär 1 liter köldbärare per meter och en 50 mm ungefär 1,5 liter per meter. Ett system med tio energibrunnar kan alltså innehålla i storleksordningen tre kubikmeter köldbärarvätska. Vid ett läckage rinner inte all köldbärarvätska ut. Endast den del av köldbärarmängden som befinner sig ovanför läckan riskerar att rinna ut.

BORRHÅLSDIMENSIONERING OCH SYSTEMDESIGN

Detta avsnitt handlar om de faktorer som påverkar hur en geoenergianläggning utformas för att fylla sin funktion på ett korrekt sätt, så att eventuella problem för den egna fastigheten eller grannfastigheter förebyggs. Avsnittet förklarar varför geoenergianläggningar utformas som de gör.

EFFEKT OCH ENERGI

Energi finns i olika former såsom värmeenergi, elektrisk energi, mekanisk energi och lägesenergi. Energi anges vanligtvis i wattimmar (Wh). $1000 \text{ Wh} = 1 \text{ kWh}$.

Effekt är den energimängd som omvandlas per tidsenhet, och anges i Watt (W).

Energi och effektbehov

En geoenergianläggning dimensioneras både avseende uttag av effekt och energi. Effektuttaget avgör hur varmt eller kallt det blir i borrhålet på kort sikt medan nettoenergiuttaget (skillnaden mellan uttag och inladdning av värme på årsbasis) påverkar den långsiktiga temperaturutvecklingen i borrhålet.

PASSIVA OCH AKTIVA GEOENERGIANLÄGGNINGAR

I en passiv geoenergianläggning återladdas marken med värme från den omgivande marken utan att man aktivt tillför värme eller kyla.

I en aktiv geoenergianläggning återförs värme/kyla till marken både genom den omgivande marken och genom aktiv inladdning av värme från till exempel solfångare, luft eller spillvärme.

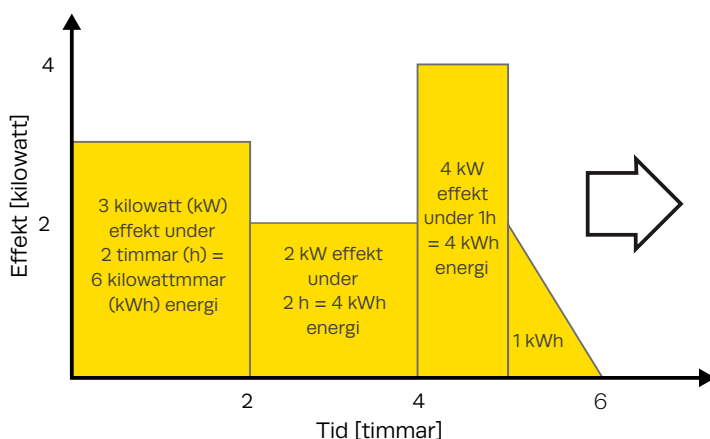
Framledningstemperaturen i en byggnads uppvärmningssystem påverkar effektbehovet från borrhålet. Låga framledningstemperaturer är fördelaktiga både för värmepumpens effektivitet (ger en högre COP) och för borrhålets temperaturutveckling.

För mindre byggnader är effekt- och energibehovet vanligtvis inte större än att värmeledningen i den omgivande marken räcker till för att återladda borrhålet (passiv återladdning) och skapa en ny värmebalans mellan mark och byggnad över året.

För större byggnader räcker som regel inte tomtytan till för att den passiva återladdningen ska skapa en tillräcklig värmebalans. Det behövs då även ett aktivt tillskott av värme till marken, exempelvis från sol, luft, vatten, spillvärme eller genom att kyla tas ut aktivt från marken. I så kallade balanserade energilager är uttaget och tillförseln av värme och kyla från marken mer eller mindre lika stort. Nettouttaget blir då nära noll under året. Vid ett energimässigt perfekt balanserat system sker ingen nettoförändring av markens årsmedeltemperatur över tid, även om effektbehoven för värme och kyla skiljer sig åt.

Temperaturen i borrhålet

I ett ensamt borrhål till ett småhus förändras temperaturen i borrhålet som mest under de allra första åren, vanligen inom fem år. Om ett borrhål är underdimensionerat brukar problem med för låga köldbärartemperaturer märkas inom den tidsramen. Efter den tiden har borrhålet nått en ny ungefärlig energibalans med sin omgivning.



Energianvändning under de 6 timmarna = 15 kWh

Medeleffekt under de 6 timmarna = 2.5 kW

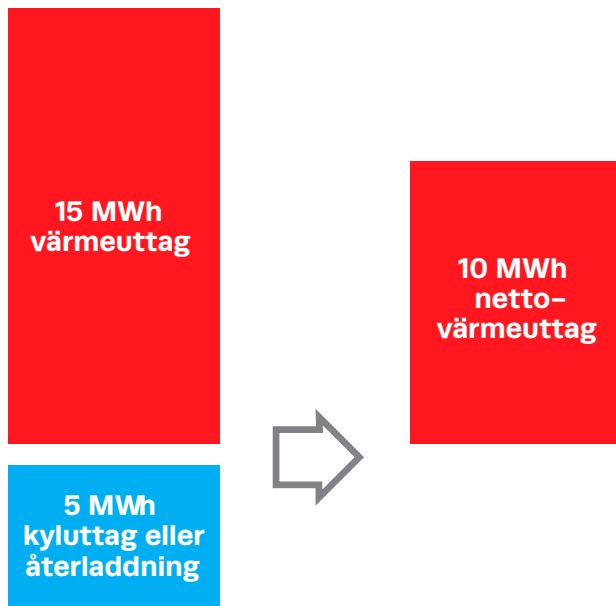
FIGUR 5 Illustration av effekt och energi.

NETTOENERGIUTTAG

Nettoenergiuttaget ur ett borrhål är skillnaden mellan uttagen och inladdad värme under en viss tidsperiod, i dessa sammanhang vanligtvis ett år.

Om man exempelvis tar ut 1 000 kWh värme på vintern och laddar in 750 kWh värme (till exempel från sol eller frånluft, eller genom att aktivt ta ut kyla ur borrhålen) under sommaren, blir nettoenergiuttaget 250 kWh på årsbasis.

Nettoenergiuttaget avgör den långsiktiga temperaturändringen i marken. Om nettoenergiuttaget är positivt (man tar ut mer värme än kyla under året) kommer temperaturen i marken att sjunka över tid, medan den ökar om nettouttaget är negativt (man tar ut mer kyla än värme under året). Om man tar ut precis lika mycket värme och kyla under ett år är nettoenergiuttaget noll och det blir ingen långsiktig temperaturändring i marken.



FIGUR 6 Om man tar ut 15 MWh värme under vintern och 5 MWh kyla under sommaren blir det årliga nettouttaget från marken 10 MWh.

För anläggningar med fler borrhål tar det längre tid att nå en ny energibalans med omgivningen. Hur lång tid det tar beror bland annat på nettoenergiuttaget, borrhålens antal, djup och placering, värmeledningsförmågan i marken och ostörd marktemperatur.

En geoenergianläggning, oavsett om det är ett enskilt borrhål eller flera borrhål, dimensioneras som regel för en lägsta medeltemperatur på vätskan i borrhålet efter 20–25 års drift, se figur 7. Vid det laget ska anläggningen ha uppnått en ny energibalans med omgivningen och fortsatta temperaturändringar i marken är obetydliga. Det betyder att anläggningen kommer att fortsätta att fungera även efter dessa 20–25 år.

Vilken temperatur som bör väljas är en avvägning mellan lägre investeringskostnad och högre driftkostnader eftersom värmepumpens COP blir lägre ju lägre köldbärartemperaturen är. Många värmepumpar börjar dock larma om den inkommande temperaturen faller under cirka -5°C .

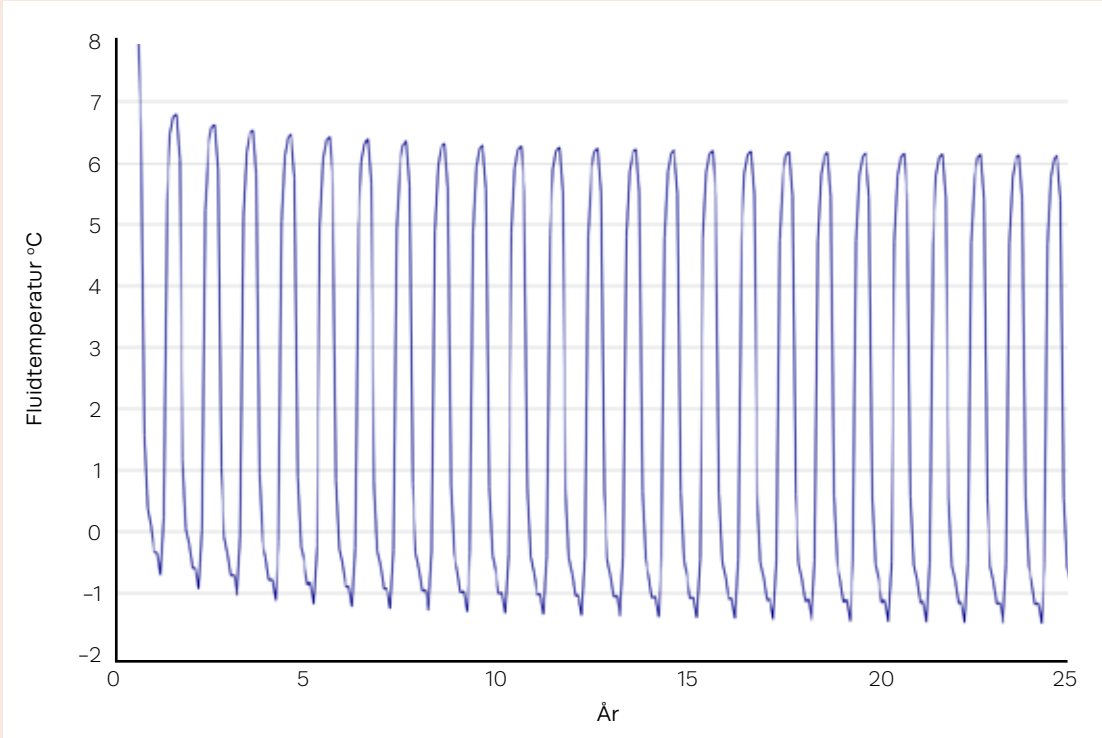
Temperaturutbredning omkring enskilt borrhål

Under ett driftår varierar temperaturen i borrhålet med flera grader beroende på tidigare energiuttag och hur effektuttaget varierar. De lägsta temperaturerna nås som regel i februari, när det är som kallast i slutet av uppvärmningssäsongen. När uppvärmningsbehovet minskar framåt våren återhämtar sig temperaturen i borrhålet. I slutet av sommaren är temperaturen i borrhålet som högst.

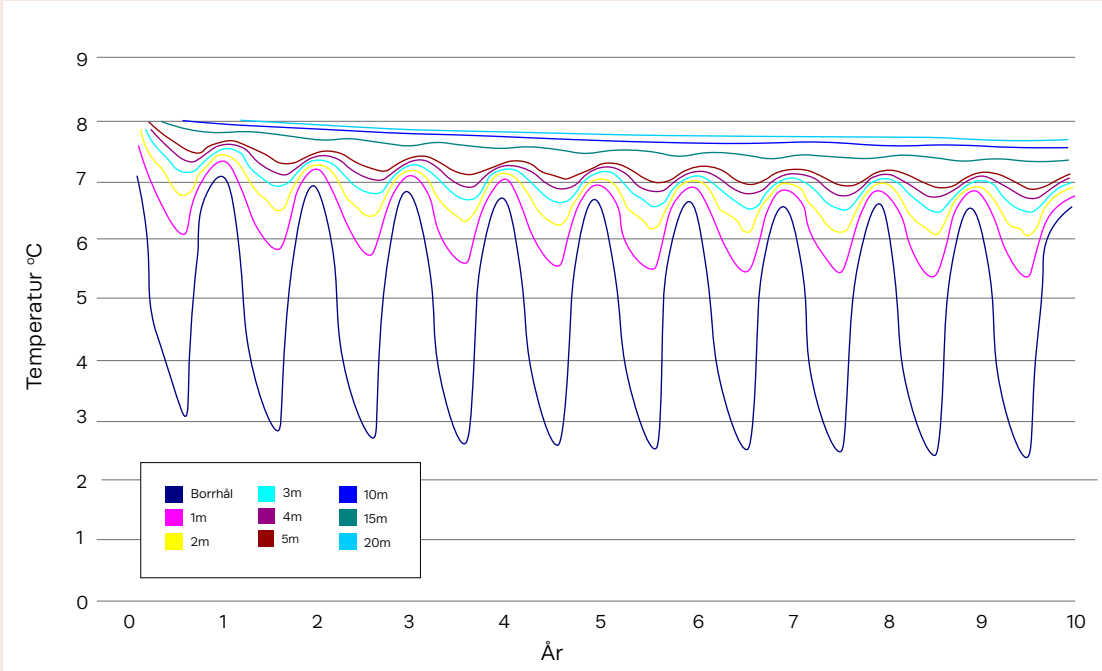
Dessa stora årstidsberoende svängningar i temperaturen når inte särskilt långt från borrhålet, se figur 8. Bortom en tiometers radie från borrhålet är årstidsvariationer i markens temperatur i stor sett opåverkade. Den långsiktiga förändringen av temperaturen i marken når dock längre över tid, men den beror endast på nettoenergiuttaget från borrhålet.

Om man använder borrhålet för uttag av kyla eller återladdar sitt borrhål med värme på sommaren innebär det att nettoenergiuttaget ur borrhålet minskar. Om man återför lika mycket värme som man tar ut från borrhålet under ett år, kommer nettouttaget att vara noll och ingen långsiktig förändring av temperaturen i marken sker. Temperaturen runt borrhålet kommer att pendla kring den ostörda marktemperaturen.





FIGUR 7 Exempel på köldbärarens temperaturutveckling i ett borrhål för ett fiktivt enfamiljshus i Stockholmsområdet under 25 års drift.



FIGUR 8 Temperaturvariation på olika avstånd från ett borrhål för ett enfamiljshus i Stockholmsområdet under 10 års drift.

 Frysning i borrhål

Det är vanligt att vi i Sverige dimensionerar energibrunnar med köldbärare i slutna kollektorslingor så att köldbärarens medeltemperatur periodvis går under noll grader under årets kalla årstid. Värmepumpen arbetar då med en sämre verkningsgrad. Men för den totala kalkylen kan det ändå bli fördelaktigare än att borra fler borrhålsmeter för att undvika minusgrader.

När köldbärarens medeltemperatur når under -4°C en längre period kan man räkna med att grundvattnet i hela borrhålet är fruset. Som regel dimensioneras energibrunnar för att så låga köldbärartemperaturer bara ska inträffa några enstaka timmar eller dagar per år när det är som allra kallast. Isen i borrhålet har en bättre värmeledningsförmåga än grundvattnet och dessutom frigörs extra värme un-

der själva frysningen, vilket är gynnsamt för värmeupptaget i energibrunnen¹⁸. I norra delen av Sverige anpassas ofta dimensioneringen av energibrunnar efter markens låga temperatur genom att tillåta lägre köldbärartemperaturer till värmepumpen.

I sällsynta fall kan frysning i energibrunnar orsaka klämskador på kollektorslangarna. Problemet uppstår när en del av vattnet i borrhålet stängs in så att det inte kan expandera när det fryser. När det instängda vattnet sedan fryser blir expansionsstrycket så högt att plastslangarna pressas ihop. I de fall detta har observerats är det oftast i energibrunnar med mycket långa foderrör, där grundvattnet inte har någonstans att ta vägen när det fryser och därmed expanderar. Studier visar att detta fenomen är mycket ovanligt (cirka ett fall per 10 000 borrhål).

¹⁸ Bergvärmeanläggningar där frysning i borrhål orsakar hopklämda kollektorslangar.





Borrhålsavstånd

Avstånd mellan två energibrunnar

I Normbrunn -16 anges ett rekommenderat avstånd på minst 20 meter mellan två borrhål på olika fastigheter. Rekommendationen är framtagen för att ange ett avstånd som är rimligt både vad avser temperaturpåverkan mellan borrhålen, och avseende praktisk och ekonomisk genomförbarhet. Om två borrhål ligger på 20 meters avstånd från varandra kommer deras inbördes påverkan på temperaturen att vara försumbar.

Om inte avståndet kan uppnås kan man kompensera för temperaturpåverkan på olika sätt. Ett sätt är att borra så att borrhålen vinklas från varandra. Det innebär att borrhålens medelavstånd ökar och att det rekommenderade avståndet kan uppnås, även om brunnslocken är närmare varandra än 20 meter. Ett annat sätt är att minska nettouttaget ur ett eller båda borrhålen genom att återladda, eller att borra djupare så att både effekt- och energiuttaget per borrhålsmeter minskar. Därmed minskar även sänkningen av temperaturen i borrhålet.

20-METERSREKOMMENDATIONEN I NORMBRUNN -16

I Normbrunn -16 står att brunnsborrhare ska "iaktta försiktighet om anläggande av brunn sker i närheten av en annan brunn" för att "visa på ett rimligt hänsynstagande vid borrentreprenad mellan aktuell brunn och angränsande fastighets brunn". Rekommenderat avstånd mellan två energibrunnar på olika fastigheter anges till 20 meter. Om ingen energibrunn finns på grannfastigheten rekommenderas 10 meter avstånd till fastighetsgränsen.

Normbrunn -16 påpekar att dessa avstånd dock inte utgör någon garanti för att påverkan inte kommer att ske. Det är alltså ett sätt att visa hänsyn till sina grannars behov och rättigheter.

Om det rekommenderade avståndet inte kan uppnås anger Normbrunn -16 kompensande åtgärder för att uppnå samma syfte som rekommendationen om 20 meter. Exempel på sådana åtgärder är att vinkla borrhålet bort från den befintliga brunnen (eller fastighetsgränsen) och att kompensera med ett ökat borrhålsdjup.

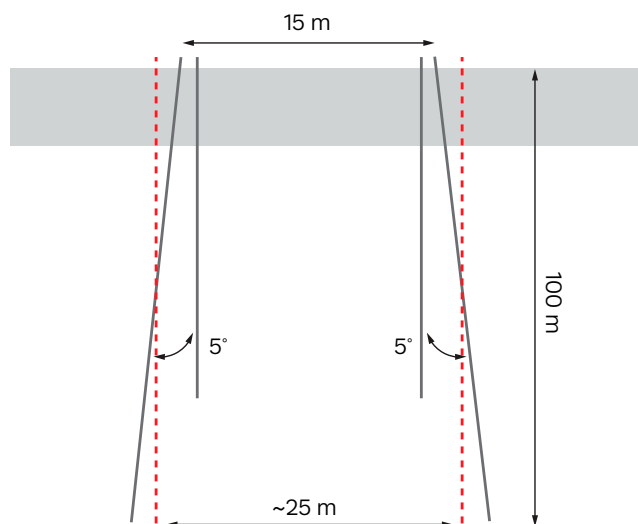


FIGUR 9 Genom att borra en energibrunn som lutar (gradat borrhål) inåt på tomten kan det rekommenderade avståndet från tomtgränsen uppnås även om ingångshålet ligger närmare. Detta beror på att det är medelavståndet (mätt från halva brunnsdjupet) ifrån en närliggande energibrunn som avgör.

Avstånd inom den egna fastigheten

Inom den egna fastigheten gäller inte 20-metersrekommendationen. Här bör man placera borrhålen med ett avstånd som är anpassat efter utformningen av systemet. Ju lägre nettouttag per meter borrhål, desto närmare kan man förlägga borrhålen utan att de påverkar varandra för mycket.

Vid passiva system för endast uttag av värme eller kyla är det vanligt att lägga borrhålen cirka 12–20 meter från varandra. I mer balanserade anläggningar – borrhålslager – där man vill lagra värme och kyla aktivt mellan säsonger och strävar efter ett nollnettouttag, läggs borrhålen tätare, ofta 4–8 meter från varandra. Avståndet är en fråga om optimal dimensionering och beror på flera parametrar.



FIGUR 10 Det effektiva (medel)avståndet mellan två borrhål kan ökas genom att borrhålen vinklas från varandra. I figuren ligger två borrhål med vardera 100 m djup med 15 m avstånd mellan brunnslöcken. Eftersom båda borrhålen är borrade med 5° vinkel från vertikalplanet och riktning från varandra, blir det effektiva borrhålsavståndet knappt 25 m.

Avstånd mellan energibrunn och vattenbrunn

En energibrunn bör inte borraras för nära en befintlig vattenbrunn, eftersom det kan påverka vattenkvaliteten i brunnen negativt under borrningen eller om köldbärarvätska skulle läcka. Normbrunn -16 rekommenderar att en energibrunn och en vattenbrunn i berggrunden förläggs minst 30 meter från varandra. Det är mycket sällsynt att vattenkvaliteten påverkas långsiktigt om dessa säkerhetsavstånd hålls. Om

vattenbrunnen i stället är grävd eller borrad i jord rekommenderas 20 meters avstånd från energibrunn.

Då energibrunnen avskärmas från jordlagren med foderrör av stål är risken för påverkan på grundvatten i jordlagren mindre.

De geologiska förutsättningarna på platsen, om vattenbrunnen hämtar sitt vatten från berggrunden eller från jordlagren, samt avståndet mellan de två brunnarna avgör risken för negativ påverkan från borrning av energibrunn.

Risker kopplade till arbetets utförande, exempelvis större spill eller att olja, bränsle eller köldbärarvätska läcker, hanteras normalt genom entreprenörens miljö- och kvalitetsarbete.

Om det finns sprickor i berget som sätter de två brunnarna i kontakt med varandra kan grundvatten blandat med borrhåls tryckas in i den närliggande brunnen på grund av det höga lufttryck som används vid borrning. Detta kan orsaka en tillfällig grumling av vattnet som ofta klarnar av sig själv efter någon eller några dagar. Om det behövs åtgärdas grumlingen genom att rensumpna vattenbrunnen.

I Normbrunn -16 beskrivs ingående hur eventuella risker kopplade till geologi vid brunnborrning (saltvatteninträngning och grundvattenkemi) ska hanteras.

För energibrunnens del finns inga större nackdelar med att ha en närliggande vattenbrunn för enskild vattenförsörjning, eftersom grundvattenströmningen bidrar till att mer värme transporteras i marken. Mycket stora grundvattenuttag som väsentligt sänker grundvattennivån i energibrunnen försämrar dock dess prestanda.

Ibland uppstår frågan om man kan ta ut både energi och vatten ur en vattenbrunn. För ett slutet system är detta inte att rekommendera. Det beror dels på att vattenuttaget innebär att grundvattenytan sänks och det aktiva borrhålsdjupet där värmeutväxling sker därmed minskar. Dels beror det på att energiuttaget sänker temperaturen i brunnen, tidvis under fryspunkten, vilket försvårar uttaget av vatten. I öppna system finns det dock inget som hindrar att vattenuttaget används både för dricksvatten och energi, så länge brunnens kapacitet är tillräcklig.





Termisk influens mellan två borrhål

Två närliggande energibrunnar kommer att utnyttja samma värmeresurs i marken och kommer därför att påverka varandras temperaturer. Ju närmare varandra borrhålen ligger, desto större blir temperaturpåverkan. Påverkan är lika stor för båda borrhålen och ökar något över tid, allteftersom brunnarnas energiuttag påverkar marktemperaturen längre från borrhålen.

TERMISK INFLUENS MELLAN BORRHÅL

Två eller fler energibrunnar som använder samma termiska resurs i marken kommer att påverka varandras temperaturer och effektuttag.

Hur stor den termiska influensen blir mellan borrhål beror av flera faktorer – antal borrhål, avståndet mellan de olika borrhålen, energiuttag, borrhålsdjup och markens värmeledningsförmåga.

Ju fler borrhål och ju närmare de ligger varandra desto större blir den termiska påverkan.

För fastighetsägarna innebär den termiska influensen att temperaturen i energibrunnarna blir något lägre än den skulle ha varit om den andra brunnen inte fanns i närheten. Detta minskar värmepumpens effektivitet något, vilket i sin tur innebär längre drifttider för värmepumpen och att eventuell spetsvärme kommer att kopplas in något tidigare. En tumregel är att en grads lägre köldbärartemperatur minskar effektuttaget från värmepumpen med två-tre procent, det vill säga att värmepumpens drifttid ökar med två-tre procent.

Genom att följa rekommendationen om 20 meters avstånd i Normbrunn -16 (se ovan) minskar man effekten av termisk influens mellan två energibrunnar. Om det inte går att ha 20 meter mellan brunnarna, kan man kompensera för effekten av den termiska influensen genom att borra djupare borrhål. Hur mycket djupare borrhål som krävs är en dimensionsfråga som måste beräknas från fall till fall. Man kan också kompensera för den termiska influensen genom att återladda borrhålet, vilket minskar det årliga nettoenergiuttaget från energibrunnarna.

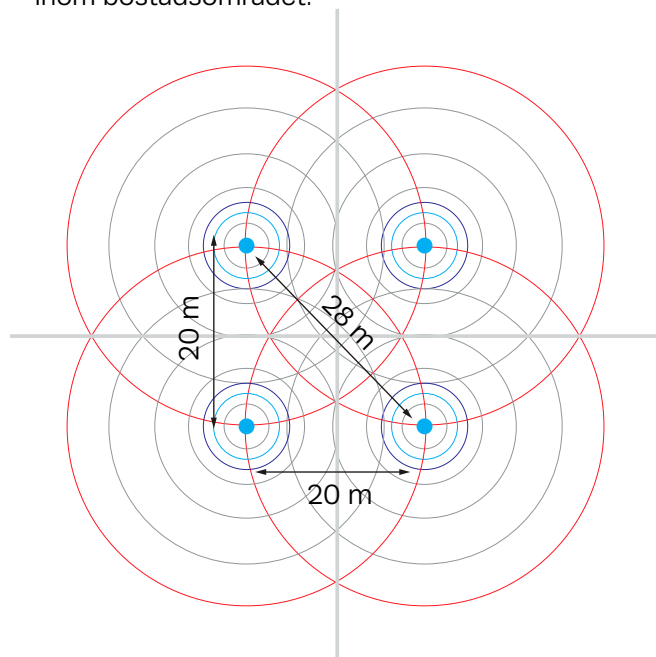
Termisk influens i tätbebyggda områden

I tätbebyggda områden, med många småhus på små tomter, kan det bli tätt med energibrunnar. Det innebär att den termiska influensen på energibrunnarna

adderas, se figur 11. Nya energibrunnar kan därför behöva borrar djupare eller återladdas för att kompensera för denna effekt.

Även om den termiska influensen från en närliggande energibrunn kan anses försumbar, kan den sammanlagda sänkningen av temperaturen på grund av flera närliggande energibrunnar bli påtaglig, i synnerhet för de brunnar som ligger i mitten av området.

För nyetablerade småhusområden utan tidigare energibrunnar rekommenderar vi att kommuner från början tar hänsyn till att övriga boende i området också kan vilja borra energibrunnar. Därför bör man dimensionera varje energibrunn för att kompensera för den sammanlagda potentiella termiska influensen inom bostadsområdet.



FIGUR 11 Den termiska influensen (påverkan) mellan energibrunnar blir större ju fler brunnar som finns i närheten och ju närmare varandra de ligger.

Aktivt och totalt djup

En fråga som ibland uppkommer är vad som menas med de olika termerna kring brunnarnas djup. Man skiljer på aktivt och totalt djup. Totalt djup avser brunnens djup från markytan till dess botten. Aktivt djup kallas den del av energibrunnen där kollektorslangarna befinner sig under grundvattenytan. I den del av borrhålet där kollektorslangarna går genom luft och inte har någon termisk kontakt med berggrunden sker ingen betydande värmeöverfö-

ring. I ett grundvattenfyllt borrhål är alltså det aktiva borrhålsdjupet den del av borrhålet som ligger under grundvattenytan.

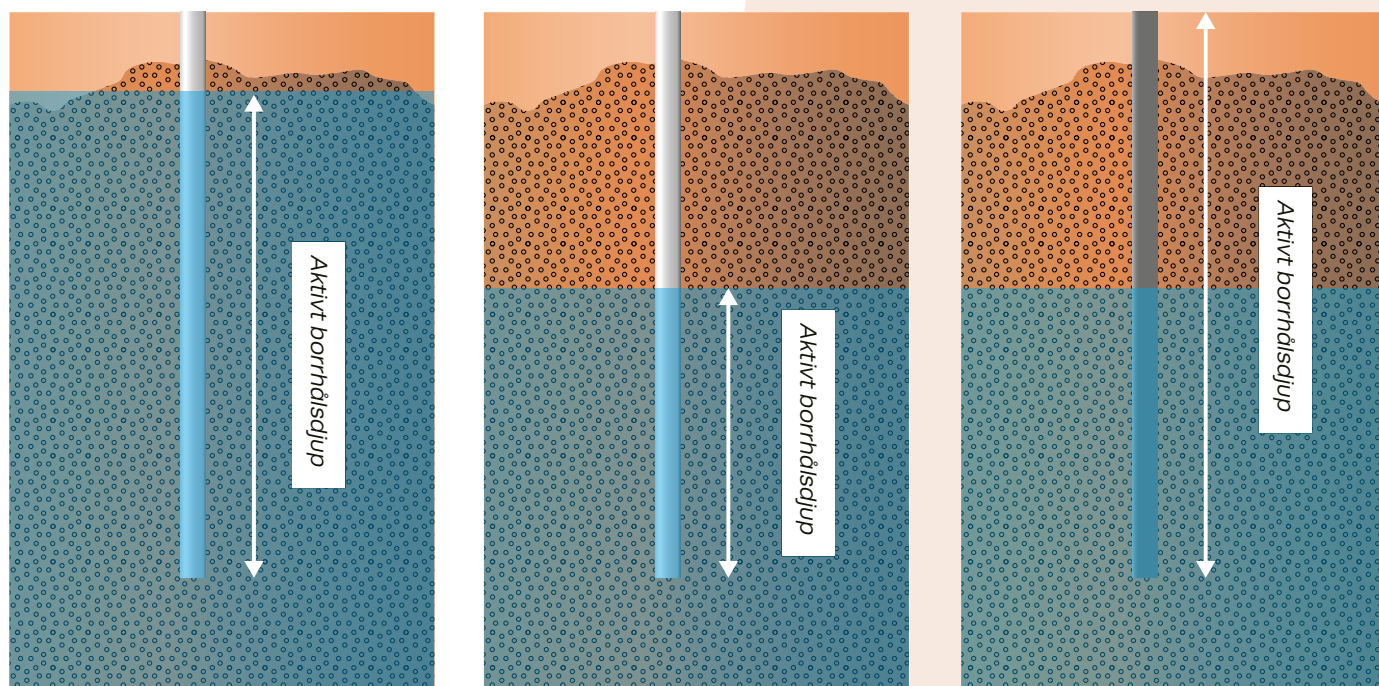
Dimensionering vid låga grundvattennivåer

I Sverige är de flesta borrhål fyllda med grundvatten upp till ett fåtal meters djup under markytan. Vattnet har kontakt med både utsidan av kollektorns slangar och borrhålsväggen och skapar på så vis termisk kontakt mellan köldbäraren och marken.

Grundvattenytan varierar något under året på grund av regn, snösmältning och torrperioder. Men dessa skillnader är så små i förhållande till det totala aktiva borrhålsdjupet att de inte har någon betydelsefull inverkan på borrhålets effektivitet på årsbasis (se avsnitt om grundvattennivåer på sid. 46).

På ett fåtal platser i Sverige kan grundvattenytan ligga djupt. Det innebär att man antingen måste borra längre för att få ett tillräckligt stort aktivt borrhålsdjup eller återfylla borrhålen helt eller delvis med en så kallad grout – en cement- eller bentonitblandning. Återfyllningen skapar kontakt mellan borrhålsvägg och kollektorslangar. På så vis blir det aktiva borrhålsdjupet större utan att man behöver borra mer.

FIGUR 12 Det aktiva borrhålsdjupet är den del av borrhålet där det finns termisk kontakt mellan kollektorslangarna och borrhålsväggen, antingen genom grundvatten eller ett återfyllnadsmaterial (grout).



Grundvattenfyllt borrhål

Kortare aktivt borrhål vid låg grundvattenyta

Återfyllt borrhål
=> hela borrhålet är aktivt

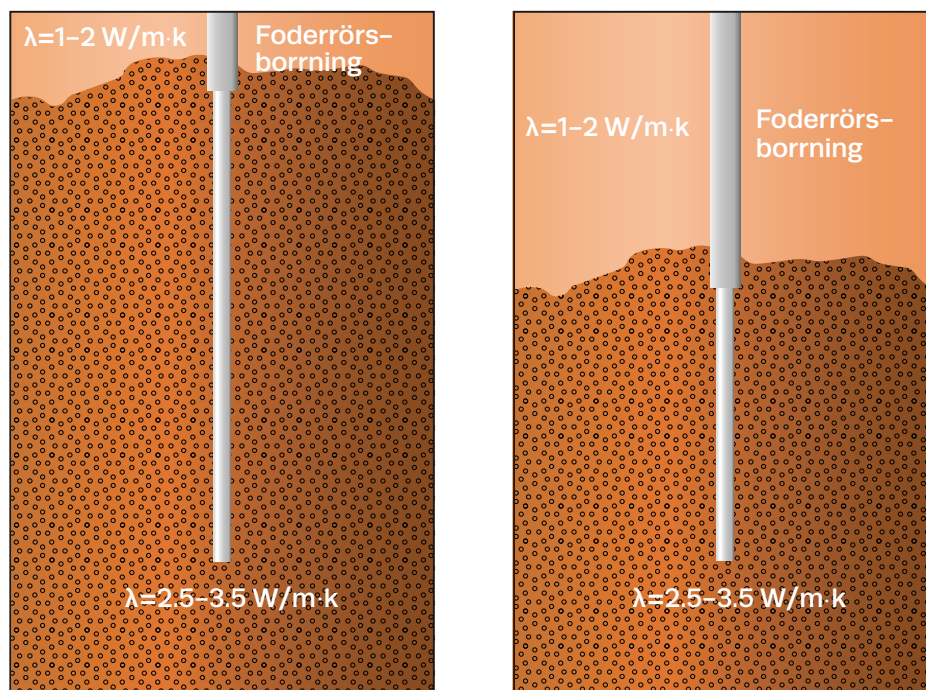
➔ Dimensionering vid stora jorddjup

Enligt Normbrunn -16¹⁹ ska borrhål borraras med minst sex meter foderrör ner till minst två meter i fast berg, för att skydda grundvattnet från föroreningar från markytan. Avståndet till fast berggrund varierar över landet (se avsnitt om jorddjup på sid. 40).

Jorddjupet har betydelse för geoenergisystem med borrhål på två sätt – dels som en kostnadsfråga eftersom foderrörborrning är tre till fyra gånger dyrare per meter än borring i fast berg, dels genom skillnaden mellan värmeledningsförmågan i lösa avlagringar (jordlager, vittrad berggrund eller sedimentär berggrund med låg hållfasthet) och i fast berggrund. Om en stor andel av det aktiva borrhålsdjupet går genom lösa avlagringar med betydligt lägre värmeledningsförmåga än den underliggande fasta berggrunden, får det betydelse för dimensioneringen. Hur stor inverkan det får beror dels på skillnaden i värmeledningsförmåga, dels på fördelningen mellan fast berggrund respektive lösa avlagringar utmed borrhålsdjupet.

Om vi som exempel har ett borrhål med 200 meters aktivt borrhålsdjup, där 100 meter går genom lösa avlagringar med en värmeledningsförmåga som är hälften jämfört med den fasta berggrunden, kommer den effektiva värmeledningsförmågan utmed hela borrhålsdjupet att vara 75 procent jämfört med om det bara varit fast berggrund utmed det aktiva borrhålsdjupet.

FIGUR 13 Om det är djupt ner till fast berg krävs långa foderrör och man behöver ta hänsyn till skillnader i värmeledningsförmåga utmed borrhålet vid dimensionering.



¹⁹ Normbrunn -16 Vägledning för att borra brunn



BORRNING

Borrtekniker

I Sverige är den vanligaste metoden för att borra vatten- och energibrunnar tryckluftsdriven sänkhammarborrning (DTH – Down The Hole hammer). Detta innebär att berggrunden sönderdelas genom att en hammare slår på en borrkrona som monteras längst ner på borrsträngen. Hammaren drivs av tryckluft som alstras med hjälp av en kompressor vid markytan. Tryckluften leds ner genom borrsträngen till hammaren, passerar genom hammare och borrkrona och fortsätter sedan genom borrhålet upp till markytan.

Tryckluften rensar även kontinuerligt hålet på krossat bergmaterial (borrkax) och grundvatten så att borrarningen kan fortsätta. Det förekommer att vatten används för att driva hammaren, och tekniken kallas då vattendriven sänkhammarborrning. Rotationsborrning med vätskespolning som är en vanlig metod utomlands används i Sverige framförallt i akviferer.

I de allra flesta fall är konventionell tryckluftsdriven sänkhammarborrning den metod som fungerar bäst vid svenska förhållanden. Valet av borrar metod är ett beslut som bäst lämnas åt borrentreprenören.

En brunnsborrning kräver en del utrymme. En typisk borrhög för villaanläggningar är cirka 6–8 meter hög med masten uppfälld, 1,5–2,5 meter bred och fem meter lång. Därtill förbinds en luftkompressor med borrhögen via en tryckluftssläng, se figur 14. Utrymme för material och verktyg behövs också. I de fall en eller flera containrar används för hantering av borrarvatten tar även de upp utrymme. När maskinerna ställs upp tar entreprenören hänsyn till att det inte ska vara för trångt för att arbeta, samt att obehöriga inte ska komma för nära maskinens riskfyllda delar.

Sammanfattningsvis kräver en arbetsplats för borrarning en yta på i storleksordningen 50 kvadratmeter, även om ytan inte måste vara sammanhängande. Exempelvis är kompressorn ofta monterad på ett lastbilsflak och kan parkeras utanför fastigheten. När brunnen är färdigborrad tar installationen vid. För en energibrunn är det en plastslang (kollektor) som fylls med en frysskyddad vätska, vanligen etanol och

vatten, som sänks ner till borrhålets botten. Foder-röret kapas under mark och kollektorn skarvas med en 90 graders vinkel. I ett öppet system för uttag av värme/kyla från grundvatten monteras pump, stigarledning för transport av vatten samt kablage i brunnen. Det är vanligt att stigarledningen går ut genom foder-röret på frostfritt djup. Nedgrävda markslangar förbinder kollektorslangarna från brunnen med anläggningen inomhus.

I Svenskt Geoenergicentrums Anvisningar för förläggning av kollektorer i geoenergisystem finns en mer utförlig beskrivning av hur energibrunnar med kollektorer bör utföras och kontrolleras.

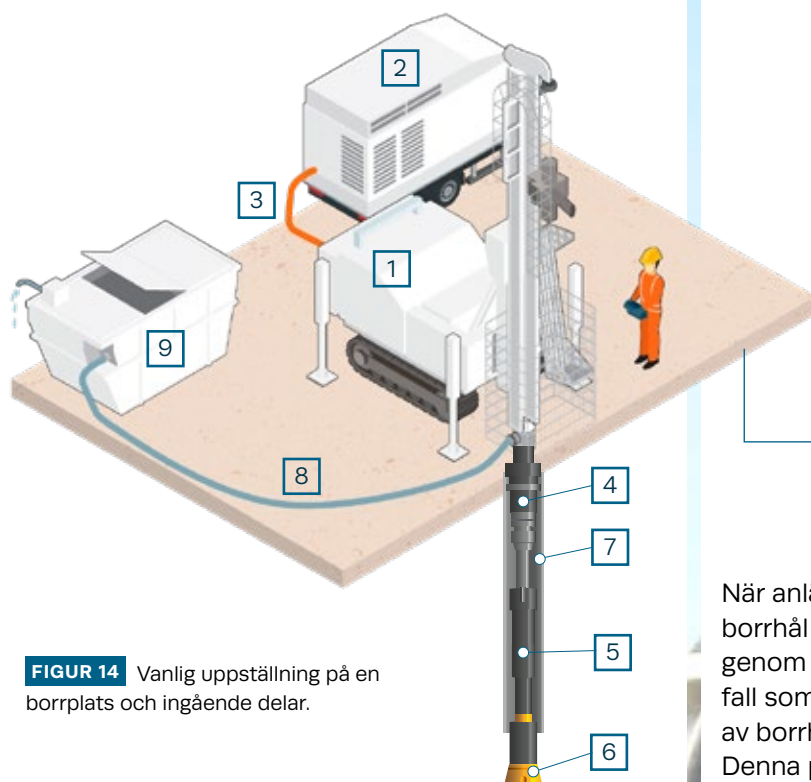
Gradade borrhål, styrd respektive riktad borrarning

Merparten av energibrunnarna i Sverige är vertikala, men det är inte ovanligt att energibrunnar borrar med lutning för att öka medelavstånden mellan dem. Borrhål som lutar kallas i branschen för gradade borrhål. Utrustningen som används för att borra borrhål med lutning/gradning är densamma som för vertikal borrarning.

När man har mätt rakheten hos konventionellt borrarade borrhål i projekt och forskningsstudier har det visat sig att de sällan är helt raka. De tenderar att avvika längs strukturer i berggrunden, men eftersom alla borrhål i ett borrhålsfält brukar avvika på samma sätt utgör det i regel inte ett tekniskt problem.

Men ibland efterfrågas rakare borrhål än normalt. Det kan krävas mer precis borrarning för borrhål som ligger närmast infrastruktur, där det är extra viktigt att ha noggrann kontroll på borrhålets sträckning. Inom branschen talas det ibland om riktad borrarning (rakhetsborrning).

Riktad borrarning, eller rakhetsborrning, innebär att man förser hammaren och borrsträngen med stöd-anordningar för att minska avvikelsen från borrhålets planerade riktning med djupet. Denna metod förekommer i vissa fall vid borrarning av energibrunnar och innebär en tillkommande kostnad. Borrhålen kan fortfarande avvika även med denna metod, men gör det i mindre utsträckning.



FIGUR 14 Vanlig uppställning på en borrhålsplats och ingående delar.

1. Borrhigg
2. Kompressor
3. Luftslang
4. Borrstång
5. Borrhammare
6. Borrkrona
7. Foderrör
8. Kaxvattenslang
9. Kaxcontainer

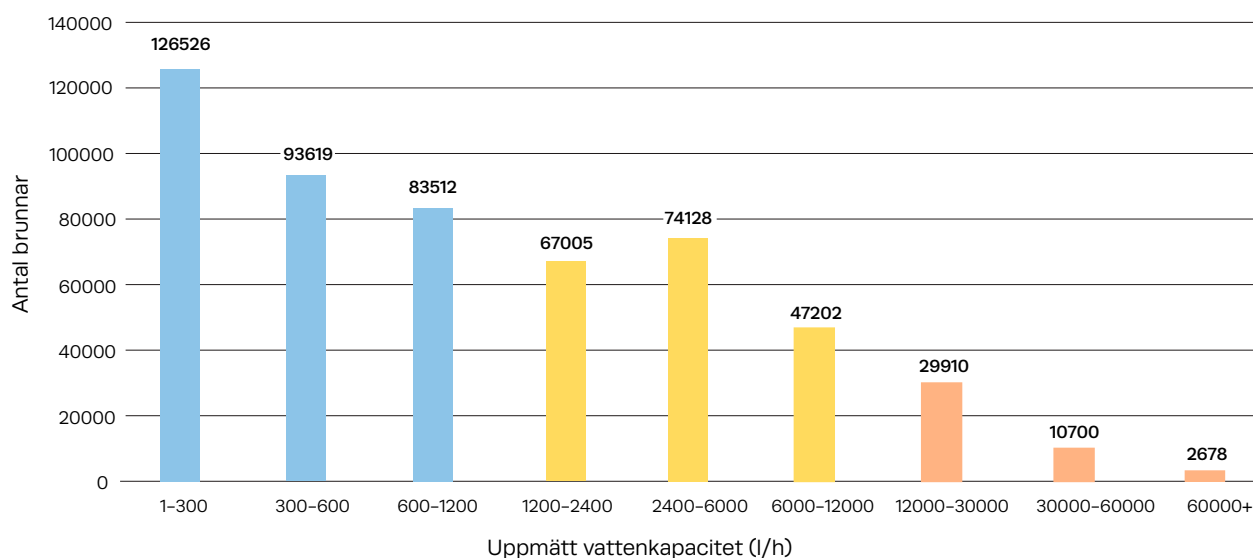
Styrd borrhning är en betydligt mer kostsam metod som inte används för vatten- eller energiborrning. Den används vid prospektering efter naturresurser eller vid horisontell borrhning, som vid borrhålsledningsförläggning där precision är särskilt viktigt. Styrd borrhning innebär att man aktivt styr borrhålets riktning. Det finns flera tekniker för att åstadkomma detta och som lämpar sig vid olika geologiska förutsättningar. Borrutrustningen skiljer sig från den som används vid konventionell brunnsborrning.

När anläggningen innehåller fler än några enstaka borrhål är det brukligt att dokumentera var de finns genom att mäta in borrhålets ingångshål. I speciella fall som forskningsprojekt kan även hela eller delar av borrhålets sträckning under marken mätas in. Denna process är tidskrävande och utförs genom att föra ner en sond till önskat djup i borrhålet och logga sondens position. Detta görs framför allt för att följa upp eventuella krav som har ställts på borrhålets läge, till exempel i förhållande till underjordisk infrastruktur. Vid t.ex. malmprospektering är det vanligare att hela borrhålets sträckning mäts in.

Borrwater

När en brunn borrar krossas berggrunden av borrhålets borrhåls. Under processen måste stenmjölet (borrkax) transporteras upp till ytan tillsammans med det

Antal brunnar i Sverige efter kapacitet (l/h)



FIGUR 15 Antal brunnar i Sverige efter kapacitet (Datakälla: Brunnarkivet 2022-04-22).

Blåmarkerade vattenmängder kan i regel hanteras med lätthet med konventionell reningsutrustning, gulmarkerade kan kräva extra insatser medan de rödmarkerade vattenmängderna ofta är mer besvärliga att hantera.



grundvatten som rinner in i brunnen. När grundvattnet kommer upp till markytan blandat med stenmjöl kallas det borrhvatten.

Partikelhalten i borrhvattnet beror på mängden borrhvatten, eftersom mängden borrhkax som bildas vid en brunnsborrning är relativt likartad. Mängden borrhkax beror på brunnens djup och dimension, och varierar i regel i liten utsträckning mellan olika bergarter. En brunn ger typiskt sett cirka 0,8 – 2 kubikmeter borrhkax per 100 meter borrning.

Den här mängden partiklar blandas ut i det grundvattnet som rinner in i brunnen under tiden den borrar. Mängden grundvatten som borrhkaxet blandas ut med varierar inom vida gränser och beror på bergets vattenföring och hur lång tid borrningen tar. I figur 14 visas tillrinningen som uppmätts i svenska energi- och vattenbrunnar. Som man kan se ligger den normalt mellan 1–12 000 liter per timme, men större flöden förekommer, se figur 15.

I de flesta brunnar som ingår i statistiken ovan är det blåskapaciteten som anges. Blåskapaciteten mäts när borrhverkyget står längst ner i brunnen och allt vatten som rinner in i brunnen blåses upp till markytan. Detta kan betraktas som det maximala flödet brunnen kan ge när den är färdigborrad.

HUR MYCKET VATTEN BLIR DET?

En enkel borrning för en villa kan i regel utföras på en till två arbetsdagar. Brunnsböraren etablerar arbetsplatsen och driver foderrör genom jordlagren ner till berg. Därefter påbörjas borrningen i berg. För det mesta är det då de största vattenmängderna produceras. Borrhastigheten är normalt 20–50 meter per timme och minskar med ökande djup och vattenmängder. På samma sätt ökar tillrinningen till brunnen med ökande djup allteftersom fler och fler vattenförande sprickor träffas på. Om man antar att bergborrningen tar åtta timmar att slutföra, producerar en borrning allt mellan några få och 100 000 liter vatten. 100 000 liter vatten, eller 100 kubikmeter, ryms i ungefär tre till fyra stora lastväxlarcontainrar. Det förekommer att energiborrningar inte kan slutföras till önskat djup på grund av att för mycket vatten påträffas.

Mindre vatten ger högre partikelhalt och mer vatten ger lägre partikelhalt. Detta avgörs av de lokala geologiska förutsättningarna på platsen. En viktig vägledning är tidigare borrhvatten i närområdet och deras flödeskapacitet.

Berggrundens hårdhet, hållfasthet och bergart har också betydelse för partikelhalten i borrhvattnet.

Olika bergarter ger upphov till olika stora partiklar under borrningen. Instabila bergarter eller deformationzoner kan också innebära att grövre eller finare partiklar än normalt bildas. Finare partiklar är svårare att separera från borrhvattnet, vilket innebär att mer partiklar finns kvar i borrhvattnet efter rening med konventionella metoder.

Rening av borrhvatten

Borrhvatten som inte behandlas på korrekt sätt riskerar att påverka omgivningen negativt på flera sätt. Genom att avskilja grova partiklar och begränsa flödet med vilket vattnet släpps ut kan man betydligt minska negativ påverkan.

Brunnsborrning utförs på tillfälliga arbetsplatser och för en villa kan borrningen ofta utföras på en arbetsdag. Det handlar alltså ofta om kortvariga punktutsläpp. I första hand bör borrhvattnet spolat ut och infiltreras i mark inom den egna fastigheten. Det är ett bra alternativ för små projekt i glesbygd, samt där brunnen producerar små mängder vatten.

I en trång stadsmiljö, vid större projekt med många brunnar eller där brunnen ger mycket stora mängder vatten kan detta vara omöjligt. Då behövs en annan lösning för att hantera vattnet.

En lösning kan vara att vattnet forslas bort via dagvattennätet. Detta förutsätter alltid att man först tar kontakt med huvudmannen för den allmänna VA-anläggningen. Det får bara ske i samförstånd med denne. Det kräver också att borrhvattnet behandlas. Riskerna med att släppa ut obehandlat borrhvatten direkt till en dagvattenbrunn eller recipient liknar dem som uppstår vid andra typer av arbeten som ger upphov till grumligt vatten, exempelvis grävarbeten i och i närheten av vattenområden, länshållning av schakter eller muddring.

I en recipient där förhöjda partikelhalter upprätthålls under längre tid, är det främst att grövre partiklar sedimenterar på botten eller att vattnet blir grumligare som kan påverka negativt. Partiklar som sedimenterar på känsliga lekbäddar riskerar att försämra möjligheterna för fiskar att lägga ägg i framtiden. Om ett utsläpp sker under lekperioden kan partiklarna även orsaka äggdöd genom kvävning.

Om den förhöjda grumligheten upprätthålls under lång tid, försämras möjligheterna att ta upp föda för filterare som musslor och minskar även ljusinsläppet till ljusberoende organismer. Vid långvarigt mycket

hög grumlighet försämrar även fiskars möjlighet till syresättning, vilket kan leda till gälskador. Grumling på grund av borrning är i de flesta fall kortvarig. Obehandlat borrsvatten som släpps ut i dagvatten-systemet kan leda till avsättning i rören, uppfyllda sandfång och i värsta fall igensättning. Detta kan oftast åtgärdas genom att slamsuga och spola rör-systemet.

För att undvika negativ påverkan avskiljs de grova partiklar som riskerar att avsättas i ledningsnät och i recipient. Det är också viktigt att vattnet håller en partikelhalt eller släpps ut i en takt som inte ökar grumligheten i recipienten för mycket.

Den vanligaste och mest kostnadseffektiva reningsmetoden är sedimentation. Borrsvattnet samlas upp i en, ibland flera containrar där de grova partiklarna sjunker till botten medan vattnet och de fina partiklarna leds vidare. Genom att öka uppehållstiden i containern avskiljs allt finare partiklar, vilket minskar risken för avsättning i ledningsnät eller i recipient. En energibrunn till en villa kostar i storleksordningen 70 000–100 000 kronor. I jämförelse kostar det cirka 5 000 kronor att hyra en liten container (8–10 kubikmeter) och cirka 10 000 kronor att hyra en stor container (25–30 kubikmeter).

Studier av hur reningen fungerar under pågående borrning har visat att även med den enklaste reningsmetoden, där vattnet kontinuerligt passerar genom en liten container, kan partiklar grövre än grovsilt-finsand (0,063 mm) avskiljas under goda förutsättningar.

Reningen kan förbättras genom att använda en container som är indelad i fack, så att vattnet filtreras genom sand och grus som har samlats på botten då det passerar genom containern. För att undvika att partiklar virvlar runt i containrarna är det alltid viktigt att tilloppslangen är fäst på ett sådant sätt att vattnet bromsas upp och får falla ner. Den bör exempelvis inte ligga på containerns botten.

Om det inte är alltför mycket vatten går det även att samla upp det i flera, större containrar där vattnet får stå över natten innan containern töms. De finaste partiklarna sjunker dock mycket långsamt även i stillastående vatten. I praktiken kan bara partiklar ner till och med mellansilt (0,006–0,02 mm) avskiljas på detta vis. Trots det går det oftast att uppnå partikelhalter på i storleksordningen 500 milligram per

liter. Men som nämnts i tidigare stycken beror det på hur mycket vatten som brunnarna har gett vid den aktuella borrningen. De partiklar som då finns kvar i vattnet är mycket finkorniga och risken att de avsätts i ledningsnät eller i recipient är därför liten.

För att förbättra avskiljningen ytterligare och få bort även de allra finkornigaste partiklarna krävs mer avancerade metoder. Det kan exempelvis handla om centrifuger, påsfilter eller filterpressar som kräver att flockningsmedel tillsätts för att klumpa ihop partiklarna. Dessa metoder är mycket kostsamma och sällan motiverade sett till den miljönytta de tillför, utöver vad som kan uppnås med konventionella metoder.

Riktvärden för partikelhalt

Vid borrning av flera borrhål inom samma fastighet, där borrsvatten kommer hanteras under en längre tid, är det lämpligt att sätta ett riktvärde för grumligheten i utgående vatten. Vilket riktvärde som krävs beror på recipientens känslighet. I dag är det vanligt att riktvärden anges i partikelhalt (milligram per liter). Partikelhalten är svår att mäta på borrhålsplatsen. Det kräver att ett vattenprov tas och skickas till ett laboratorium för analys. Det tar normalt flera dagar innan provresultaten kommer och vid den tidpunkten har förhållandena på arbetsplatsen ändrats.

Grumligheten kan även mätas med en så kallad turbiditetsmätare, vilket är mycket vanligt i andra branscher, exempelvis kontrollprogram för avloppsreningsverk. En turbiditetsmätare är ett instrument som mäter hur mycket ljus som passerar genom vattnet. Utrustningen finns i bärbart utförande till ett pris på cirka 10–25 000 kronor. Om riktvärdet anges i turbiditet (FNU eller NTU) blir det därför enkelt för entreprenören att kontrollera och kontinuerligt övervaka grumligheten i fält.

Det är inte helt enkelt att koppla turbiditet till partikelhalt på ett exakt sätt, eftersom olika partiklar grumlar olika mycket. Till exempel ger små lerpartiklar ett grumligare vatten än samma mängd sand. Studier har visat att 500 milligram per liter suspenderade, det vill säga uppslammade mineralpartiklar ger upphov till en turbiditet på ungefär 200–400 NTU.

När man bestämmer ett riktvärde är det viktigt att komma ihåg att den grumling som kan orsakas i recipienten är tillfällig. Borrning utförs inte på fasta arbetsplatser, utan kan ofta slutföras på en eller ett par arbetsdagar per borrhål. Eftersom partiklarna



VAD ÄR BAKGRUNDSHALTERNA?

Generellt finns i Sverige en tydlig variation över året, där högst halter suspenderat material (uppslammade partiklar) förekommer naturligt i vattendrag under snösmältningsperioden och lägst efter längre regnfria perioder. Kraftiga regn ökar halten av suspenderat material. Små vattendrag har ofta en högre koncentration material jämfört med stora vattendrag, även om den totala mängden material som förs med är lägre. Halterna ligger i storleksordningen mellan 5–25 mg/L under sommarmånaderna och mellan 40–200 mg/L under snösmältningen. I dagvatten varierar halterna i bostadsområden normalt mellan 20–150 mg/L och kring vägar mellan 40–300 mg/L



som följer med borrhvattnet ut är så fina att de inte sedimenterar i containrarna, följer också merparten av partiklarna med strömmen utan att avsättas i strömmande vatten.

Generellt bör den resulterande halten av suspenderade partiklar en bit efter att borrhvatten släppts ut i vattendraget inte överstiga 10–100 milligram per liter, beroende på vattendragets känslighet. Eftersom borrhvattnet tillförs med ett lågt flöde, jämfört med flödet i de flesta vattendrag, kan ett något högre riktvärde ofta sättas, men recipientens känslighet bör alltid bedömas. Det finns inget generellt gällande riktvärde i Sverige och myndighetskraven som ställs varierar inom ett så stort intervall som 25–500 milligram per liter. Den högre nivån går oftast att uppnå genom att sedimentera med skäligen åtgärder på borrhvatsplatsen. För att klara de strängaste kraven krävs i regel mer avancerade och kostsamma reningsmetoder, vilket diskuteras mer i ovanstående stycke.

Borrhvatsföretagens rekommendation är att:

- Riktvärdet som huvudregel inte ska sättas lägre än 200–400 NTU eller 500 milligram per liter.
- Begränsa flödet med vilket borrhvattnet släpps ut när påverkan på grumligheten behöver minskas.
- Öka sedimentationstiden när man behöver minska risken för avsättning i recipient och ledningsnät
- Känsliga recipienter eller recipienter som är hårt belastade från många verksamheter kan dock kräva ett lägre riktvärde.

Borrkax

Borrkax kallas det stenmjöl som kommer upp till markytan i samband med borrhning. Borrkaxet består av finkrossat material i ler- till grusfraktion. Dess kemiska sammansättning motsvarar jordlagrens och berggrundens uppbyggnad.

Naturligt förekommande jord- och bergmaterial innehåller inte farliga ämnen, förutom i vissa undantagsfall. Det är ytterst få bergarter som utgör en risk för eventuellt läckage av metaller. Mineral som kvarts och fältspat dominerar. I en utredning av lakegenskaper för bergmaterial och moräner som gjordes av Värmeforsk 2006, konstaterades att gnejs och granit generellt har mycket låga halter miljöstörande ämnen. Det gör dem lämpliga att användas som fyllnadsmaterial och ballast.

I markens översta del kan det inom stadsplanerade områden finnas fyllnadsmassor, äldre deponier eller andra föroreningar i marken där halterna av miljöfarliga ämnen är höga. Det är viktigt att sådana förorenade massor inte blandas med det övriga borrhkaxet. Om man är osäker om borrhkaxet ska omhändertas eller inte kan det bekräftas med en analys. Det är inte hållbart att inert naturmaterial, det vill säga material som inte förändras när det lagras, måste deponeras i onödan.

Det finns även områden med berggrund som kräver speciell hänsyn när borrhkaxet hanteras, se stycket Områden med geologiska risker och försiktighetsåtgärder nedan.

Borrkax – avfall eller resurs?

Borrkax som samlas upp under borrhningen kan med fördel användas som markutfyllnad eller byggmaterial. Borrkaxets potential som jordförbättringsmedel har också studerats. Tanken är att mineralpartiklarna tillför nya näringsämnen, såsom kalium, natrium och kalcium till jorden.

För att det ska vara tillåtet att använda borrhkaxet som exempelvis markutfyllnad finns det en rad saker att tänka på.

Det ska finnas ett tydligt syfte med utfyllnaden. Inom detaljplanlagt område kan det behövas marklov om utfyllnaden gör att marknivån höjs mer än en halv meter.

Det kan behövas dispens från strandskyddet om borrhkaxet ska användas strandnära (vanligen 100–300 meter från strandlinjen).

Om borrhkaxet placeras i vattendrag, nära vatten eller våtmark, kan det även ses som vattenverksamhet. Borrkaxet ska ersätta nytt material som hade köpts

in om borrhaxet inte fanns tillgängligt. Syftet ska inte vara att bli kvitt borrhaxet. Då räknas det i stället som deponering av avfall, vilket betraktas som en tillståndspliktig miljöfarlig verksamhet.

Det är även viktigt att vara medveten om att den fastighetsägare som använder borrhaxet också ansvarar för att borrhaxet inte används på ett sätt som ger upphov till olägenhet för människors hälsa eller miljön. Ett exempel är om borrhaxet skulle innehålla föroreningar.

Om det inte går att använda borrhaxet och någon behöver göra sig av med, betraktas det som avfall. I de allra flesta fall klassas borrhax då som inert (stabil) avfall. Avfall ska bortforslas till en återvinningscentral eller deponi för att tas om hand på ett korrekt sätt.

Transport av borrhax

Om borrhaxet klassas som ett avfall är det i vissa fall anmälnings- eller tillståndspliktigt att transportera det.

Om borrentreprenören själv forslar bort borrhaxet betraktas det som en icke yrkesmässig transport.

Det beror på att avfallet har uppstått i den egna verksamheten och att företagets huvudverksamhet är borrhning. Om borrentreprenören under ett kalenderår transporterar mer än tio ton eller 50 kubikmeter är verksamheten anmälningspliktig till länsstyrelsen.

Om ett transportföretag anlitas för att forsla bort borrhaxet, räknas det som en yrkesmässig transport av avfall. Företaget måste ha anmält sin verksamhet till länsstyrelsen för att få hantera upp till tio ton eller 50 kubikmeter, eller om en enskild transport överstiger ett ton eller fem kubikmeter. För större mängder krävs tillstånd av länsstyrelsen.

Om borrhaxet innehåller så höga halter av farliga ämnen att det klassas som farligt avfall, krävs tillstånd från länsstyrelsen för att transportera det om mängden överstiger 100 kilogram eller 100 liter, oavsett om det gäller en yrkesmässig eller icke yrkesmässig transport.





Områden där speciell hänsyn bör tas vid borrar, borrar inom vattenskyddsområden och vid förorenad mark

Inom vissa områden i Sverige bör särskild hänsyn tas till de geologiska förhållandena vid borrar, exempelvis där det finns:

- Salt grundvatten.
- Grundvatten av sämre kvalitet.
- Artesiskt grundvatten.
- Vattenskyddsområden.
- Förorenade områden.

Dricksvatten av god kvalitet är en av de viktigaste naturresurserna i Sverige. Den måste användas på ett sådant sätt att vattnet inte riskerar att skadas. Det innebär bland annat att dricksvattnet ska skyddas mot direkta eller indirekta risker som kan påverka dess kvalitet eller kvantitet negativt.

Borrbranschen har i decennier utarbetat normer och arbetssätt som syftar till att förebygga skador. Den viktigaste insatsen är utbildning och certifiering av brunnsbörare. Ett annat exempel är att alla energibrunnar förses med täta foderrör genom de lösa jordlagren för att undvika att ytligt förekommande grundvatten och föroreningar i jordlagren kan spridas djupare ner i marken, se Normbrunn-16²⁰. Ett ytterligare exempel är att de köldbärarvätskor som används har kort nedbrytningstid i naturen och inte är klassade som giftiga eller miljöskadliga. Ett sista exempel är de metoder och särskilda material som har utvecklats för att vid behov kunna täta hela eller delar av borrhålen i syfte att förhindra att grundvatten kan röra sig längs borrhålet. Se även återfyllning och tätning av borrhål nedan.

I detta stycke belyses de största riskerna förenat med borrar i den typen av känsliga eller riskfyllda miljöer som nämnts ovan, men även vilka åtgärder som kan vidtas för att förhindra skador.

Områden med geologiska risker och försiktighetsåtgärder

Grundvattnets möjlighet att röra sig genom berggrunden varierar mellan olika bergarter. Bergarter som sandsten och kalksten är ofta mycket vattenförande, medan relativt täta, leriga sedimentära bergarter eller sprickfritt, kristallint berg hindrar vattnet. På samma sätt kan jordlagren innehålla täta lerlager eller genomsläppliga sand- och gruslager. Ett borrhål som går genom flera olika marklager kan vara en väg för vatten att röra sig, vilket under vissa förutsättningar kan utgöra en risk för negativ påverkan.

Salt grundvatten

Salt grundvatten kan påträffas i Sverige på kustnära platser samt på platser som har legat under den marina gränsen. Se även stycket Grundvattenkvalitet (salt), se sidan 48. Om salt grundvatten påträffas i energibrunnar som borrar nära vattentäkter, kan kvaliteten på dricksvattnet försämrats i vattentäkten. Risken är större om det samlade vattenuttaget i energibrunnens närhet är stort.

Negativ påverkan kan undvikas genom att en tätning (partiell återfyllning) monteras i borrhålet några meter ovanför det djup där saltvattnet påträffades eller återfylls från botten och upp till saltvattnegränsen. Det är därför viktigt att borrentreprenören om möjligt dokumenterar kloridhalten (konduktivitet) med jämna mellanrum under borrar.

Ytligt vatten

Ytvatten och ytligt förekommande grundvatten är ofta sämre ur dricksvattensynpunkt jämfört med det djupare grundvattnet. Det kan till exempel bero på naturligt förekommande humus, bakterier och partiklar, eller på mänsklig påverkan från jordbruk eller städer. Inläckage av sådant vatten kan försämrat vattenkvaliteten i den aktuella brunnen och utgör ett problem om brunnen används för dricksvatten. Energibrunnar ska enligt Normbrunn -16 alltid avskärmas från jordlagren med foderrör som ska drivas minst sex meter djupt och minst två meter ner i fast berg och tätas. Därmed minimeras denna risk.

²⁰ Normbrunn -16. Vägledning för att borra brunn

Grundvatten av sämre kvalitet

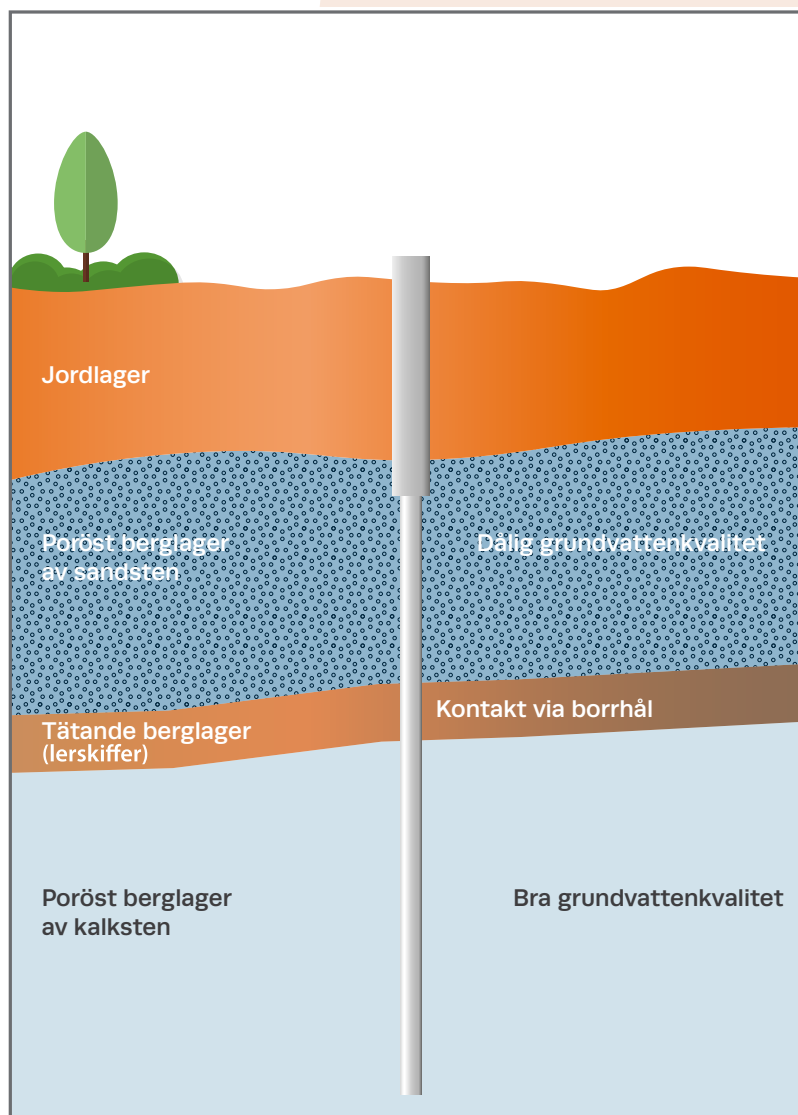
Under vissa förutsättningar kan borrning genom ett tätande skikt i berggrunden innebära att grundvatten med olika vattenkvalitet kan blandas via borrhålet. Detta kan innebära att grundvatten av sämre kvalitet blandas med vatten av bättre kvalitet, eller ge upphov till utfällningar i vattnet lokalt runt brunnen.

Eftersom det i regel inte sker något vattenuttag ur energibrunnar är grundvattenrörelserna små, om det inte finns närliggande vattentäkter eller naturliga tryckskillnader mellan berglagren. På platser där detta kan ge upphov till problem kan energibrunnen återfyllas helt eller delvis med tätande material, beroende på de geologiska förutsättningarna.

Borrkax från berggrund med förhöjda halter av ämnen

På en del platser i landet förekommer berggrund med förhöjda halter av vissa ämnen. Detta är ofta kopplat till ovanstående stycke om grundvattenkemi, eftersom vattnets innehåll av ämnen påverkas av den omgivande berggrunden. Inte sällan är förhöjningen av ett ämne koncentrerat till ett enskilt markskikt eller i en avgränsad mineralisering. Men ibland kan även större bergvolymers omfattas. I vissa områden i landet förekommer till exempel alunskiffer som har relativt förhöjda halter av uran, zink, kadmium, bly och arsenik. Ett annat exempel är sulfidmineralförande berggrund.

FIGUR 16 Olika sedimentära bergarter är ofta lagrade på varandra. Täta skikt mellan vattenförande lager förhindrar att vatten av god kvalitet blandas med vatten av sämre kvalitet. Figur från Normbrunn -16, SGU.



➔ Borrkax med kraftigt förhöjda halter av skadliga ämnen ska inte återvinnas i anläggningsändamål utan köras till deponi. Om det är osäkert vad borrkaxet innehåller kan det bekräftas med en analys. För att säkerställa att borrkaxet hanteras korrekt, kan beställaren med fördel begära att entreprenören med ett kvitto styrker att materialet har avlämnats till deponi.

Artesiskt grundvatten

Vid borrning i berg eller i områden med låggenomsläppliga jordlager, kan grundvatten påträffas med en trycknivå som når över marknivån, antingen i jordlagren eller i sprickzoner i berggrunden. Detta så

Risker och försiktighetsåtgärder i vattenskyddsområden

För att skydda en vattenresurs som används för allmän vattenförsörjning, kan kommuner och länsstyrelser inrätta vattenskyddsområden. Detta görs oftast i anslutning till de allmänna vattentäkterna. Även områden som i dag inte används för vattenförsörjning, men som i framtiden kan komma att användas, kan förklaras som vattenskyddsområden. I sådana områden krävs ofta tillstånd för att borra energibrunnar.

Vid borrning i ett vattenskyddsområde behöver entreprenören ta hänsyn till både de geologiska risker-

Ämne	KM	MKM	Ex alunskiffer	Ex granit
Antimon	12	30	3–15	0–5
Arsenik	10	25	30–150	1–5
Barium	200	300	300–600	400–500
Bly	50	180	25–80	5–30
Kadmium	0,8	12	4–7	0,1–0,5
Kobolt	15	35	10–34	1–10
Koppar	80	200	125–175	5–20
Krom	80	150	60–150	40–100
Kviksilver	0,25	2,5	50–150	0–0,25
Molybden	40	100	50–100	2–10
Nickel	40	120	140–240	2–20
Vanadin	100	200	300–4000	20–80
Zink	250	500	115–400	50–100

TABELL 1 Naturvårdsverkets riktvärden för klassning av förorenad mark (mg/kg torrsubstans). KM: Känslig markanvändning (ex. bostad, parkmark, skydd av grundvatten), MKM: Mindre känslig markanvändning (ex. industrimark, inget skydd av grundvatten). Vanliga intervall för alunskiffer och granit finns med som jämförelse.

kallade artesisiska grundvatten gör att brunnen rinner över. Detta förekommer oftast i dalgångar eller i låg terräng som omgärdas med markant högre liggande omgivning.

För att förhindra att den artesisiska brunnen flödar konstant, rekommenderar vi att man monterar en manschett av svällgummi en bit ovanför den artesisiska sprickan. Svällgummit expanderar och förhindrar att brunnen flödar över. I vissa fall tätas inte borrhålet av, utan förses med en dräneringsledning. Då ska man tänka på att den konstanta avledning- en av grundvatten ur brunnen på sikt kan leda till att grundvattnets trycknivå sjunker i andra brunnar i omgivningen.

na som har nämnts i ovanstående stycke och risker som är kopplade till hur arbetet utförs.

För att kunna bedöma vilken eventuell påverkan ett borrhål kan få i ett vattenskyddsområde, är det viktigt att beakta förutsättningarna på platsen. Bedömningen skiljer sig beroende på om uttaget av vatten sker ur ytvatten, jordlager eller berggrund, på avståndet mellan borrhålet och vattentäkten samt på de geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna i området.

När det gäller bergborrade brunnar är risken för påverkan liten om avståndet mellan vattentäkt och energibrunn är tillräckligt stort. En färdigställd energibrunn har normalt ingen påverkan på en ytvattentäkt eller på grundvattnet i jordlagren om tillräckligt säkerhetsavstånd hålls. Det finns dock risker kopplade till arbetets utförande som kan påverka även dessa.

Läckage av oljor och bränslen

På alla arbetsplatser där det förekommer arbetsmaskiner, fordon och där bränsle hanteras, finns en risk för spill eller läckage av oljor och bränslen. Risken ska alltid minimeras genom att utrustningen regelbundet kontrolleras och servas.

I ett vattenskyddsområde, där konsekvenserna av ett eventuellt läckage riskerar att bli stora, kan det vara lämpligt med extra åtgärder. Borrigen och kompressorn kan exempelvis ställas upp på ett tätt underlag som fångar upp eventuellt spill. Entreprenören bör även ha upprättat en beredskapsplan för vad som behöver göras vid ett missöde.

Köldbärarvätska

Om det skulle gå håll på kollektorslangen kan köldbärarvätska läcka ut i brunnen och spridas till grundvattnet. Läckage av köldbärarvätska är ovanligt. Men för att begränsa konsekvenserna, om det skulle inträffa, är det viktigt att bara välja köldbärarvätskor som har liten påverkan på grundvattnet. Därför använder branschen nästan uteslutande bioetanol, en vätska som inte klassas som vare sig giftig eller miljöskadlig och som bryts ned på kort tid i naturen.

Om bioetanol skulle läcka ut är den främsta risken en eventuell påverkan på smaken i närliggande vattentäkter i berg från denatureringsmedlet i vätskan. För att upptäcka eventuella skador i ett tidigt skede kontrolleras alltid kollektorslangarnas täthet noggrant både före och efter montage. Systemen är dessutom utrustade med larm som varnar och stoppar anläggningen vid ett läckage.

En annan åtgärd som kan vidtas är att entreprenören bara får borra på ett tillräckligt stort avstånd från vattentakten, så att vätskan hinner brytas ner innan den når fram. I Normbrunn -16 rekommenderas att en energibrunn inte borrar närmare än 30 meter från en vattenbrunn. För större kommunala vattentäkter kan ett större avstånd vara motiverat.

Borrhålet kan även återfyllas med ett tätande material, så att köldbärarvätskan inte kan spridas till grundvattnet vid ett eventuellt läckage.

Försiktighetsåtgärder i förorenade områden

En borrning genom förorenad mark kan medföra flera risker, beroende på de geologiska förutsättningarna, föroreningens mängd och dess egenskaper. I Sverige finns fler än 80 000 dokumenterade förorenade

områden, många gånger i anslutning till bebyggda områden där anläggning av geoenergi kan bli aktuellt.

Därför rekommenderar vi att kommuner och länsstyrelser efterfrågar att en riskbedömning av borrning och övriga undermarksentreprenader ska utföras i samband med att ett förorenat område inventeras, undersöks och/eller åtgärdas. Riskbedömningen kan sedan användas som beslutsunderlag för vilka åtgärder som bör krävas när geoenergi etableras.

En brunn som anläggs i ett förorenat område kan i vissa fall innebära en ökad risk att föroreningen sprids vidare via borrhålet. Risken är särskilt stor om föroreningen har hög löslighet i grundvattnet eller hög densitet. Vilken typ av förorening det är fråga om har stor betydelse, både för risken för spridning och för vilka åtgärder som bör vidtas. Det är därför svårt att ge några generella rekommendationer kring åtgärder. En platsspecifik bedömning behöver genomföras i varje fall.

Många föroreningar orsakade av människan finns i jordlagren och inte i berggrunden, exempelvis metaller och petroleumprodukter. På en sådan plats kan risken för att föroreningar sprids ofta minimeras, genom att den del av borrhaxet som kommer från jordlagren samlas upp i en egen behållare och tas om hand. Brunnens foderrör hindrar ytvatten och ytligt förekommande grundvatten från att läcka in i brunnen och vidare ner i marken.

Andra typer av föroreningar som riskerar att spridas djupare ner i marken via borrhålen, exempelvis klorerade lösningsmedel, behöver hanteras på ett annat sätt. Där kan det vara lämpligt med en fullständig återfyllning av borrhålen för att säkerställa att föroreningarna inte kan spridas via borrhålet. I svåra fall kan det vara nödvändigt att avstå från att borra på platsen.

Om ingen förorening kan konstateras, men det går att misstänka att den kan nå brunnen i framtiden, kan det vara aktuellt att upprätta ett kontrollprogram för att övervaka grundvattnet. Då detta är både kostsamt och omständligt, kan det i stället vara befogat med en partiell eller fullständig återfyllning även i detta fall.

Vid borrning ska man även ta hänsyn till att geoenergianläggningen inte försvårar en framtida sanering av området.

ÅTERFYLLNING OCH TÄTNING AV BORRHÅL

Borrhål i svenska geoenergisystem återfylls normalt inte, utan tillåts vara fyllda med grundvatten. Detta gör att värmen transporteras effektivt mellan kollektorn och det omkringliggande berget. Eftersom inget vatten tas ut ur borrhålet är energibrunnars påverkan på grundvattenförhållandena oftast försumbar.

Som diskuterats i tidigare stycke, finns det platser där man behöver ta särskild hänsyn. Där kan det vara lämpligt att återfylla borrhålet helt eller partiellt för att säkerställa att geoenergianläggningen inte påverkar sin omgivning negativt.

Partiell tätning innebär att bara en begränsad del av borrhålet tätas för att förhindra flöde längs med denna del av borrhålet. Det är en lämplig lösning när risken för påverkan är avgränsad till ett visst djup i borrhålet. Det kan till exempel handla om att förhindra att djupt liggande saltvatten rör sig uppåt genom brunnen, att ytvatten eller ytnära grundvatten rör sig neråt eller att vatten från olika nivåer i marken blandas.

En energibrunn återfylls vanligen fullständigt genom att en plastslang förs ner till borrhålets botten. Därefter pumpas ett återfyllningsmaterial (grout) ner genom slangen och brunnen fylls i sin helhet från botten och upp. Vid en partiell tätning monteras

exempelvis en platta på en lämplig nivå i brunnen, varefter samma typ av återfyllningsbruk används för att gjuta en plugg av önskad längd.

Återfyllningsmaterialen som används på marknaden är antingen cement- eller bentonitbaserade. Bentonit är en naturligt förekommande lera som sväller vid kontakt med vatten. Det är vanligt att även sand blandas ner i materialet för att förbättra dess termiska egenskaper. Det förekommer också att grafit blandas ner i samma ändamål. Materialen bör säkerställa en god täthet samt vara beständiga mot att frysa och vara anpassade efter de förhållanden som påträffats i borrhålet, exempelvis vad gäller salt grundvatten och låg grundvattennivå.

Att återfylla en energibrunn ökar kostnaden för systemet. Om ett material med låg termisk konduktivitet väljs kan det dessutom inverka negativt på borrhålets värmeledningsförmåga. För att kompensera för detta behöver man borra djupare. Det finns termiskt förstärkta återfyllningsmaterial (grout) som i stället ger borrhålet en något bättre värmeledningsförmåga.

Mer ingående information om återfyllning och tätning av borrhål finns att läsa i Svenskt Geoenergicentrums skrift "Råd och anvisningar om återfyllning av energibrunnar".



GEOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

De lokala geologiska förutsättningarna på borrhjulsplatsen har stor betydelse för hur geoenergisystem ska dimensioneras och i förlängningen även för anläggningarnas lönsamhet. I detta kapitel belyser vi vilken typ av geologisk information som finns tillgänglig i Sverige och hur informationen tas fram.

Majoriteten av informationen kan inhämtas från Sveriges geologiska undersökning (SGU) som tillhandahåller karttjänster, dataserier och rapporter om geologiska parametrar av betydelse för geoenergianläggningar. Informationen utgör ofta betydelsefulla underlag för att bedöma borrhning, effektuttag, termiska förhållanden och systemutformning.

Jordlagrens mäktighet – jorddjup

Jordlagrens mäktighet, eller jorddjupet enligt SGU:s definition, har stor betydelse för en geoenergiborrhning. En stor del av den totala borrhkostnaden kan kopplas till att borra i jord och driva foderrör. I Sverige är jordlagren vanligtvis mindre än 20 meter mäktiga. Det finns dock stora variationer, där de lokalt kan vara flera tiotals meter till över 100 meter mäktiga. Det gäller i exempelvis dalgångar, sprickdalar och områden som ligger under nivån för högsta kustlinjen (HK), samt i områden med vittrad och lösare berggrund. De största kända jorddjupen i Sverige är nästan 200 meter och påträffas i trakten av centrala Jönköping.

I områden med kristallint urberg, exempelvis granit eller gnejs, är jordlagren ofta mäktigare i anslutning till sprickdalar, förkastnings- och vittringszoner. I västkustens sprickdalslandskap påträffas mäktiga jordlager i lerfyllda dalgångar, vilka till stor del omges av hållmark i högre terräng. Även utmed flera av Norrlandsälvarna kan det vara betydande jorddjup.

Relativt mäktiga jordlager påträffas också i stora delar av Norrlands inland och i anslutning till vissa välkända geologiska företeelser, som till exempel den Mellansvenska israndzonen. Denna framträder som ett öst–västligt stråk genom Östergötland, Västergötland och Dalsland. I anslutning till isälvsavlagringar påträffas allmänt också relativt mäktiga jordlager som ofta är sandiga och vattenförande.

Inom områden med sedimentär berggrund, exempelvis sandsten, kalksten och skiffer, är jorddjupen lokalt stora. Det beror på att dessa bergarter ofta är lösare i jämförelse med det kristallina urberget och har därmed lättare eroderats i samband med den senaste istiden. I till exempel delar av Skåne har även den sedimentära berggrunden samma hållfasthet som jordlagren. Förutom svårighet att bestämma jordlagrens mäktighet, leder det till att foderrören inte enbart måste drivas i jordlagren utan ofta flera meter ner i berggrunden tills fast berg påträffas.

Områden med tunna jordlager, eller där berggrunden går i dagen, förekommer till exempel i en bred öst–västlig zon genom norra Götaland och södra Svealand. Även i kustområdena och på Öland och Gotland är jordlagren vanligen tunna eller så är berggrunden blottad.

Var hittar jag information om jordlagrens mäktighet – jorddjupet?

Information om jordlagrens mäktighet kommer främst från uppgifter från borrhningar som lagras i SGU:s Brunnarkiv. Förutom uppgifter om borrhningens placering, djup och grundvattennivå, finns här information om djup ner till berggrundsytan och i vissa fall även information om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad. Totalt finns mer än 750 000 brunnsuppgifter, men antalet brunnar varierar kraftigt från område till område. På årsbasis tillkommer drygt 20 000 brunnsuppgifter till SGU, varav merparten utgörs av nya geoenergiborrhningar.

Här kan du läsa mer om jorddjupsmodellen:

<https://www.sgu.se/produkter/geologiska-data/vara-data-per-amnesomrade/jordartsdata/jorddjupsmodell/>.

Kartvisaren för jorddjup nås via SGU:s hemsida under fliken produkter eller kan öppnas direkt i mobiltelefonen via applikationen <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jorddjup.html>.

Information om **befintliga brunnar, jordlager eller berggrundens uppbyggnad** kan också nås via kartvisartjänstens menyalternativ.



FIGUR 17 Karta över modellerat jorddjup i Sverige.

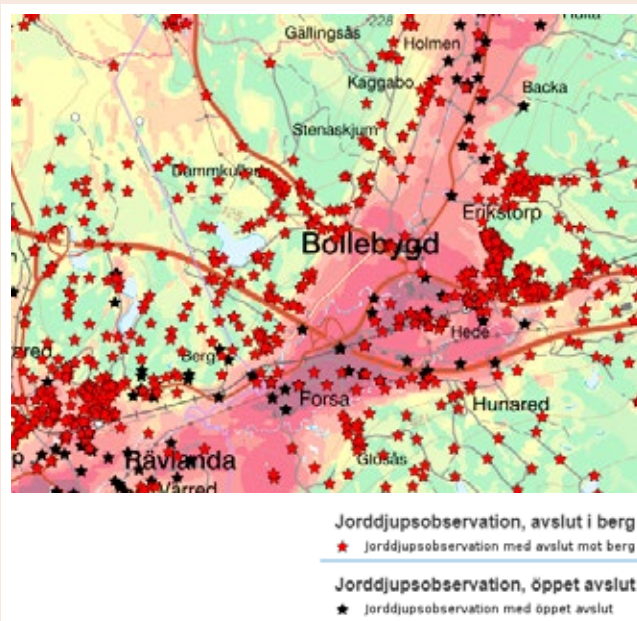
KARTVISAREN JORDDJUP

Översiktlig modell av jorddjupen i Sverige.

Kartvisaren visar en karta med skattade jorddjupsintervall som baseras främst på uppgifter från borrhningar. Som stöd i interpoleringen har även uppgifter om sprickzoner i berggrunden och jordlagrens uppbyggnad använts.

Jorddjupsobservationer består av jorddjupsuppgifter från olika databaser vid SGU som innehåller stratigrafiska observationer eller på annat sätt uppgifter om jorddjup eller hållobservationer. Observationerna som antingen är punkter där jordmaktigheten ner till berggrunden konstaterats (avslut i berg), eller observationer där berggrunden inte nåts (öppet avslut) visas också i visaren vilket ger en uppfattning om vilket underlag till modellen som finns i ett visst område.

Jorddjupsmodellen uppdaterats minst en gång om året. Nya jorddjupsobservationer lagras dock in kontinuerligt i SGU:s databaser vilket gör att det kan finnas skillnader mellan brunnsuppgifter i SGU:s brunnsarkiv och de jorddjupsuppgifter som anges i den senaste uppdaterade jorddjupsmodellen.





Berggrundens termiska egenskaper

Effekten som kan hämtas ur en bergborrad energibrunn är beroende av värmeledningsförmågan i den direkta omgivningen till borrhålet. När ett bergvärmesystem dimensioneras används i dag i regel en programvara. I denna ingår bland annat uppgifter om berggrundens värmeledningsförmåga. God kunskap om berggrundens termiska egenskaper är framför allt betydelsefullt på de platser där man planerar för större anläggningar med flera borrhål. Men även för den enskilde villaägaren som planerar att installera bergvärme kan kunskap om berggrundens värmeledningsförmåga ha betydelse när rätt borrhåldjup ska bedömas. Med rätt kunskap om bergarternas värmeledningsförmåga kan brunnsdjupen anpassas till effektbehovet. Det nödvändiga borrhåldjupet som krävs för att uppnå en bestämd kapacitet kan, beroende på berggrundens värmeledningsförmåga, variera med upp till 40 procent.

VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA

(även termisk konduktivitet, värmekonduktivitet eller specifik värmeledningsförmåga) är egenskapen hos ett material att leda värme.

Bergarternas värmeledningsförmåga beror på mineralinnehåll, porositet, densitet samt vattenhalt. I svensk berggrund är värmeledningsförmågan vanligen mellan 2 och 4 W/m·K.

Torra och porösa sediment har den lägsta värmeledningsförmågan, med ett värde under 1 W/m·K. Hård och tät kvartsrik sandsten, ex. kvartsit uppvisar generellt de högsta värdena, med ett värde över 7 W/m·K.

Som jämförelse: Värmeledningsförmågan för vatten är ca 0,55 W/m·K, för is ca 2,2 W/m·K och för luft ca 0,025 W/m·K.

Värmeledningsförmågan i berggrunden är en funktion av de förekommande bergarternas innehåll av olika mineral och de fysikaliska egenskaperna, som till exempel porositet och permeabilitet.

Värmeledningsförmågan (λ) mäts i watt per meter och grad Kelvin (W/m·K). Vissa bergarter är bättre ledare av värme än andra. Det beror på att värmeledningsförmågan varierar i förhållande till främst kvartshalten i bergarten. Exempelvis är det vanligt att värmeledningsförmågan hos kvartsfattiga basiska bergarter, som till exempel gabbro, är 2,0–2,5 W/m·K, och hos bergarter som till exempel granit 3,0–4,0 W/m·K. Värmeledningsförmågan kan vara uppemot 7,0 W/m·K i mycket kvartsrika bergarter, som till exempel kvartsit eller sandsten.

Värmeledningsförmågan för de kristallina bergarterna varierar inte lika mycket som för de sedimentära bergarterna. SGU:s beräkningar av värmeledningsförmågan utifrån fördelningen av mineral i 6 500 bergartsprov, främst kristallina bergarter, ger ett medelvärde på 3,3 W/m·K. Merparten av värdena ligger mellan 2,5 och 4,0 W/m·K (Figur 18). Lägre värden representerar mestadels mycket kvartsfattiga basiska bergarter, exempelvis basalt och vissa sedimentära bergarter som kalksten, siltsten och skiffer. Värden över 4,0 W/m·K är vanligtvis kvartsit och sandsten.

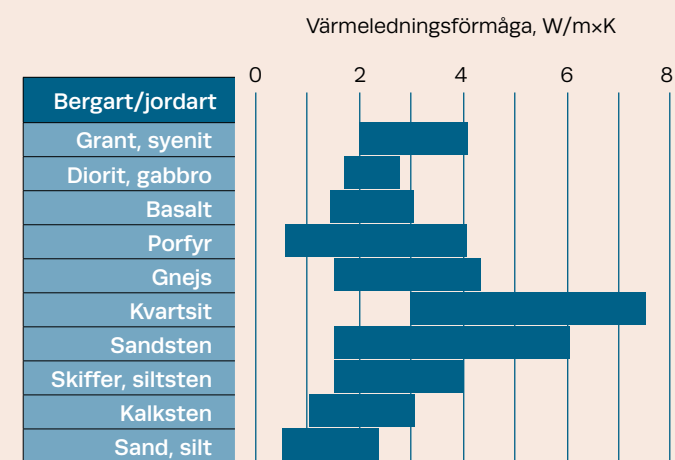
Observera att bergarternas värmeledningsförmåga baseras på beräkningar och analyser av enskilda prov i laboratorier. Dessa värden kan avvika betydligt från de värden som kan fås om borrhålets sammanlagda värmeledningsförmåga mäts. Avvikelserna beror oftast på en skalfaktor där förhållandena på plats inverkar, som fördelningen av bergarter i den genom-borrade bergvolymen och faktorer som sprickighet, vattenhalt och grundvattenrörelser.

Den effektiva värmeledningsförmågan utmed ett borrhåls djup kan bestämmas med så kallad TRT-mätning (termisk responstest). TRT-mätningen utförs under kontrollerade förhållanden, där mängden värme som tillförs borrhålet och köldbärarens temperatur till och från brunnen registreras. En sådan mätning tar cirka tre dagar (60 timmar). Resultaten används för att beräkna berggrundens effektiva värmeledningsförmåga, samt det termiska motståndet mellan den värmebärande vätskan i kollektorslangen och borrhålets vägg. Ingående anvisningar kring hur ett termisk responstest ska utföras återfinns i Svenskt Geoenergicentrums Riktlinjer för termisk responstest (TRT).

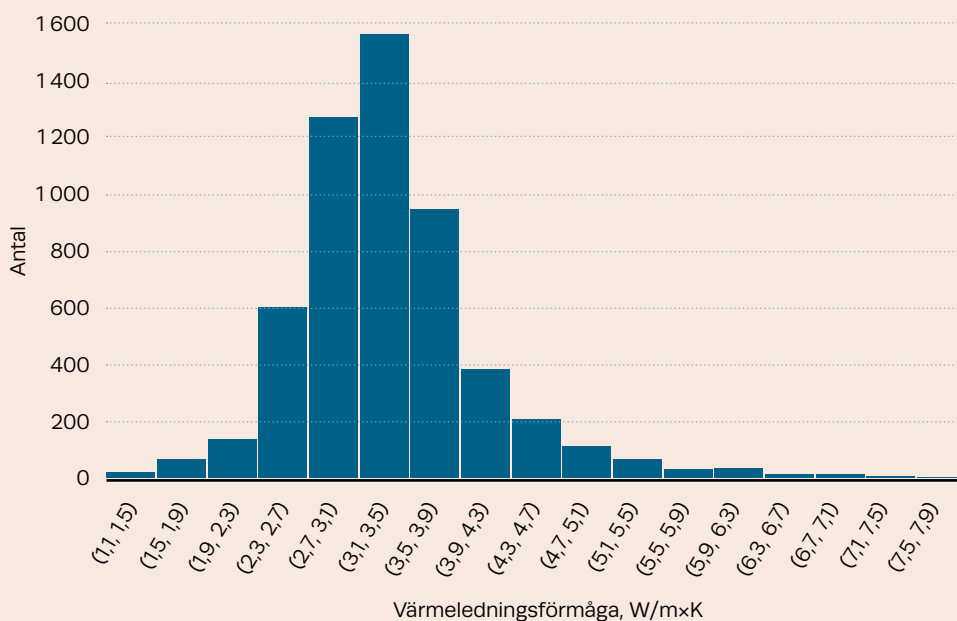
Vad är temperaturen på djupet?

Temperaturen i berggrunden har betydelse för värmeuttaget, eftersom den möjliga sänkningen av temperaturen i borrhålet är avgörande för anläggningens effektuttag. Berggrundens och grundvattnets temperatur på tiotals meters djup kan i de snöfattiga delarna av Sverige förenklat antas vara lika med årets genomsnittliga utomhustemperatur (Figur 19).

Marktemperaturen skiljer sig från cirka 9–10 °C i söder till mindre än 3 °C i norr. I de relativt ytliga delarna av marken, ned till något tiotal meters djup, påverkas temperaturen mestadels av solens värmande effekt och varierar över året (Figur 19).



FIGUR 18 Övre diagrammet schematiskt diagram som visar skillnader i värmeledningsförmåga för att antal olika bergarter samt för sand och silt. Undre diagrammet fördelningen av beräknade värmeledningsstal från mineralanalyser av 6 500 bergartsprov i Sverige.



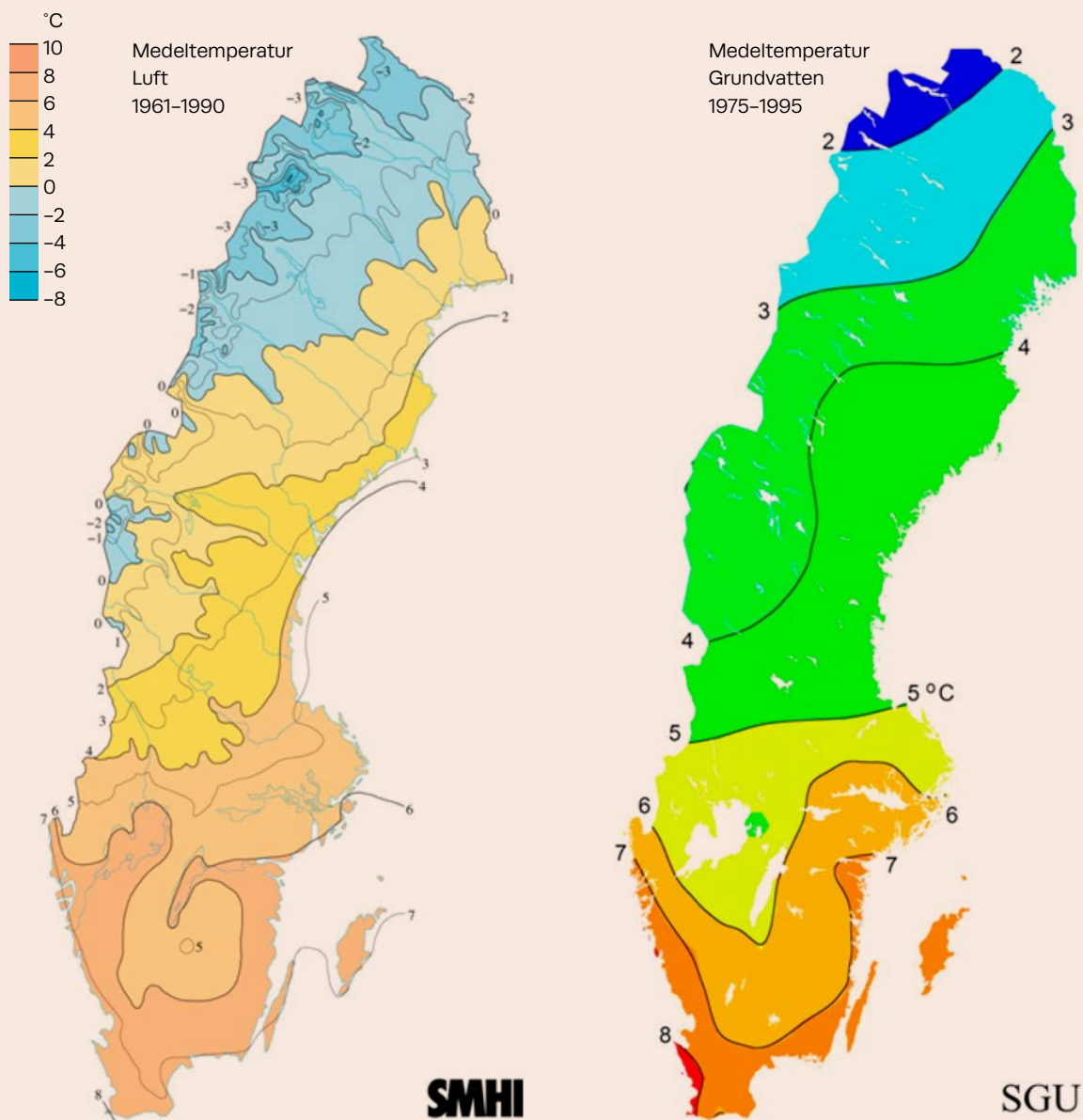
Därunder är temperaturen stabil över året och ökar successivt med djupet på grund av värmeflödet från jordens inre. Temperaturen ökar med ungefär 15 °C per kilometer i urberg och 30 °C per kilometer i sedimentär berggrund. Temperaturökningen med djupet kallas geotermisk gradient.

I djupa borrhål är ett stort värmeflöde tillsammans med hög temperatur avgörande för ett högt energitagg. Värmeflödet beror bland annat på jordskorpan tjocklek, förmåga att leda värme och värmeproduktivitet. Merparten härrör från magmarörelser i jordens inre (manteln) samt värmeproduktion

i jordskorpan. I Sverige varierar det geotermiska värmeflödet mellan 20 och 100 milliwatt per kvadratmeter, med ett medelvärde på cirka 50 milliwatt per kvadratmeter. I söder är värmeflödet 50–70 milliwatt per kvadratmeter medan det i norr vanligtvis är mellan 30 och 40 milliwatt per kvadratmeter. Lokalt kan värmeflödet vara högre där det finns graniter med högre värmeproduktion, som till exempel i Bohuslän.

SGU har i dag cirka 500 stationer runt om i landet där det ytliga grundvattnets temperatur mäts löpande.





FIGUR 19 Till vänster: Årsmedelvärden i lufttemperatur för perioden 1961–1990 (källa: SMHI). Till höger: Medianvärden på grundvattentemperaturen i Sverige för perioden 1975–1995 (källa: SGU). Det ska noteras att årsmedeltemperaturen i luften sedan dess har stigit med cirka 1 °C. Den temperaturökningen återfinns också i grundvattnets temperatur.

➔ Specifik värmekapacitet: vad är det?

Specifik värmekapacitet anger ett materials förmåga att lagra termisk energi. Man brukar tala om ett materials termiska tröghet. Det definierar hur mycket energi som krävs för att höja temperaturen en grad för ett kilogram material (berg). Enheten anges normalt i joule per kilogram och grad kelvin, men i det här fallet kan man ersätta kelvin med grader Celsius. Omvänt uttryckt är det ett mått för hur mycket värmeenergi som måste lagras i (eller dras ur) ett bergmaterial för att uppnå en viss temperaturändring. Den specifika värmekapaciteten är därmed direkt knuten till bergartens (berggrundens) densitet och ofta används den med schablonvärden. Granit har en specifik värmekapacitet på cirka 1 kJ/kg·K, medan den för vatten är fyra gånger högre. Bortsett från vattnets låga värmeledningsförmåga, understryker det vattnets betydelse för en geoenergianläggning. Specifik värmekapacitet anges vanligtvis genom att man räknar med bergets massa. Ibland kan dock den

specifika värmekapaciteten anges per volym ($\text{J/m}^3 \cdot \text{K}$) där man istället räknar med bergets volym.

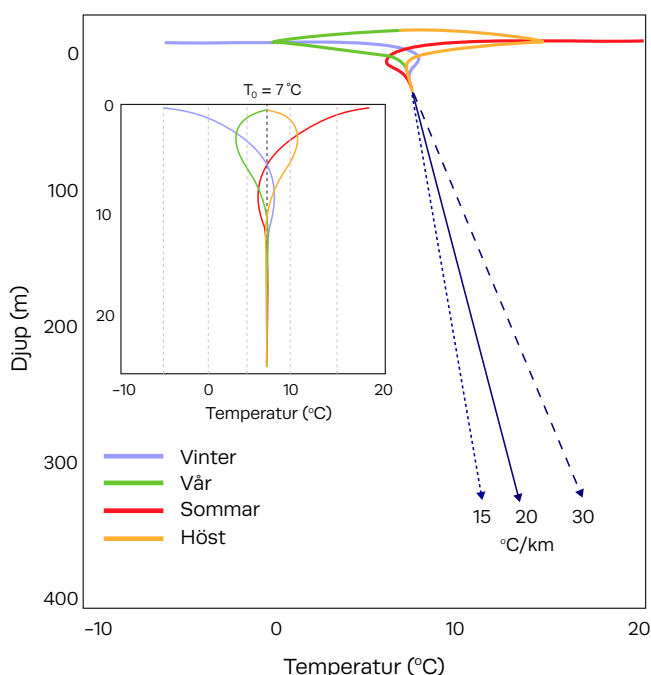
Värmeproduktionen i berggrunden: vilken betydelse har den?

Förutom värmeledning kan även värmeproduktionen i berggrunden ha betydelse för geoenergianläggningar. I yngre graniter och pegmatiter kan det finnas förhöjda halter av uran, torium och kalium. Vid sönderfallet av dessa element frigörs värme som leder till relativt högre temperaturer i berggrunden. Detta i sin tur ökar verkningsgraden i geoenergianläggningen. Halterna av de nämnda elementen mäts genom radiometrisk mätning. De utförs inom SGU:s geofysiska kartering, antingen från mark- eller flygmätningar.

Specifik värmekapacitet ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$) har betydelse för hur bra värme kan lagras i berggrunden.

Värmeproduktion ($\mu\text{W/m}^3$) anger vilken värmeeffekt berggrunden har.

Värmeflöde (mW/m^2) är den värme som strålar ut från jordens yta och som mestadels kommer från jordens inre.



FIGUR 20 Schematiska kurvor som visar den beräknade marktemperaturen mot djupet under ett år och vid ostörda förhållanden (ingen värme tas ut eller tillförs aktivt). Vid ytan och ned till cirka 15 meters djup påverkas temperaturen, om än med en tidsfördröjning, av den årstidsberoende värmeinstrålningen från solen. Längre nedåt styrs temperaturförhållanden (i huvudsak) av den geotermiska gradienten med värden mellan 15 och 30 °C/km. Markytans medeltemperatur T_0 har antagits i det här fallet till 7 °C (jämförbart med till exempel förhållandena i Mälardalen), den årliga variationen av marktemperaturen till ± 12 °C; berggrundens värmeledningsförmåga är satt till 3,5 W/m·K och värmekapaciteten (volumetrisk) är 2,5 MJ/K·m³.

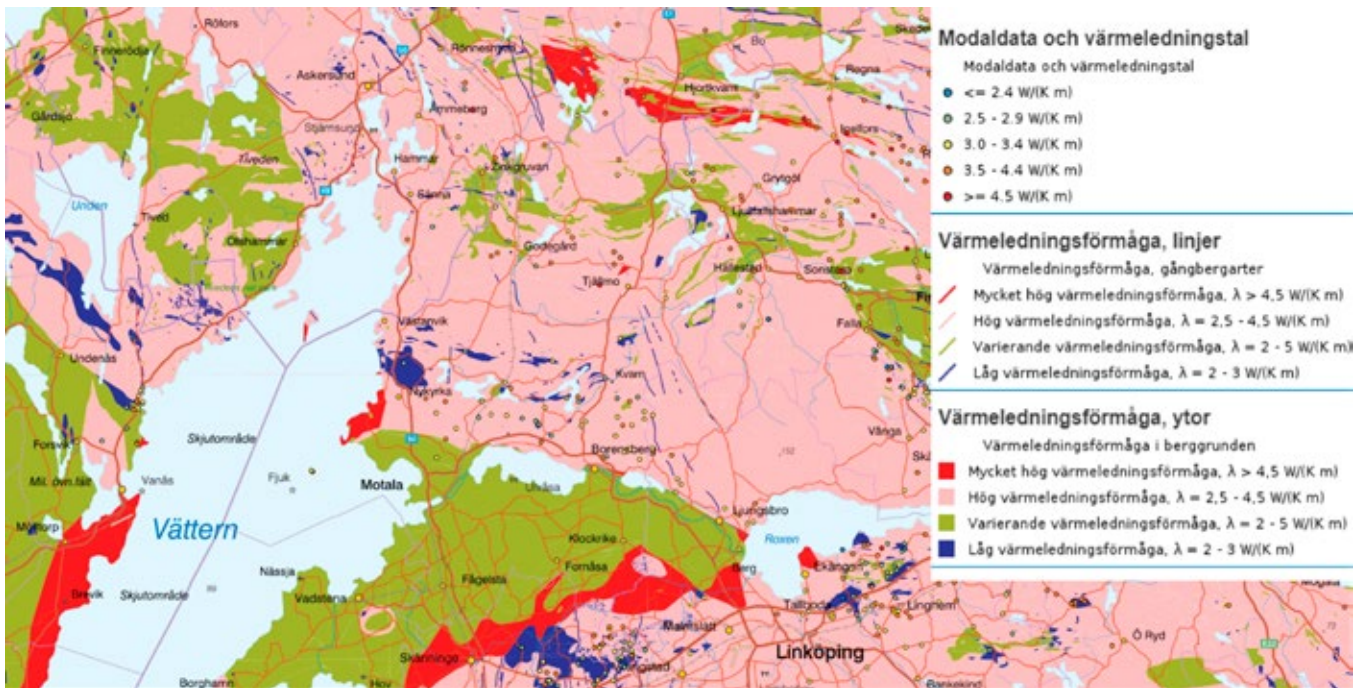
Var hittar jag information om berggrundens värmeledningsförmåga?

Via SGU:s kartvisare för geoenergi (<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-geoenergi.html>) kan man se en prognoskarta för berggrundens värmeledningsförmåga (Figur 21). Denna är baserad på beräkningar och klassning av värmeledningsförmågan från bergartsanalyser och SGU:s berggrundskartor.

Totalt finns i dag cirka 6 500 analyser som underlag till kartvisaren. Dessa så kallade modaldata finns också att ladda ner från SGU:s hemsida via länken <https://www.sgu.se/produkter/geologiska-data/oppna-data/berggrund-oppna-data/modaldata-och-varmeledningstal>. Beräkningen av värmeledningsförmågan från modaldata har även stämts av med laboratoriemätningar på olika bergartsprov.

Notera att prognoskartan endast ger en uppskattning av värmeledningsförmågan i berggrundens ytliga delar. Man kan ändå se att det finns jämförelsevis högre värmeledningsförmåga för vissa områden.





FIGUR 21 Utdrag ur kartvisaren för geoenergi som visar prognoskartan för berggrundens värmeledningsförmåga.

Jordlagrens termiska egenskaper

Jordlagrens förmåga att leda värme påverkas i huvudsak av vatteninnehållet och porositeten. Hög vattenhalt medför att kontakten mellan mineral- och bergartskornen i jordarten förbättras, eftersom vatten leder värme cirka 20 gånger bättre än luft. Värmeledningsförmågan är följaktligen bättre i den vattenmättade delen under grundvattenytan. Tätare jordarter med en lägre porositet har en relativt bättre förmåga att leda värme, eftersom den större kontaktytan mellan mineral- och bergartskornen gynnar värmeledningen. Om mark som innehåller vatten fryser, förbättras värmeledningsförmågan eftersom isens värmeledningsförmåga är fyra gånger högre jämfört med vattnets.

Generellt sett håller finkorniga jordar (silt och lera) vatten bättre än grövre jordar som sand och grus. De har bäst förutsättningar för jordvärme, se även figur 18. Jordar som innehåller mycket silt kan suga upp mycket vatten, även från djupet. Morän innehåller normalt sett tillräckligt mycket lera och silt för att kunna hålla vatten, men i de fall moränen är grovkornig kan dess vattenhållande förmåga vara jämförbar med sand. Sandlager under grundvattenytan kan dock vara mångdubbelt bättre på att leda värme jämfört med sand ovan grundvattenytan.

Grundvattennivåer

SGU har övervakat grundvattennivåer i olika delar av Sverige sedan slutet av 1960-talet. Stationerna som används för att mäta grundvattennivåer ingår i det som kallas Grundvattennätet, vilket också används för att övervaka grundvattnets kemi.

De flesta av SGU:s nivåmätningar görs i grundvattenrör i jord, men det ingår också bergborrade brunnar samt grävda brunnar i jord.

Syftet med mätningarna är att registrera tidsmässiga variationer av kvalitet och nivåer på grundvattnet för exempelvis referensändamål, prognoser, miljökontroller och resursberäkningar. Grundvattenytans nivå och variation över tid beror bland annat på typ av magasin, jordart, klimat och topografiskt läge, vilket måste tas hänsyn till när man jämför olika datapunkter.

Historiskt sett har nivåerna mätts manuellt en till två gånger i månaden med ett så kallat klucklod. Sedan några år tillbaka arbetar SGU med att ersätta dessa med automatiska mätstationer som ger möjlighet till fler mätningar. De automatiska mätstationerna består av en tryckgivare som mäter grundvattennivån flera gånger per dygn och skickar mätdata direkt till

SGU för vidare användning och publicering av data. I Figur 22 syns att nivåkurvan för stationen Åtvidaberg_2 blir mer fluktuerande, vilket beror på den tätare mätfrekvensen.

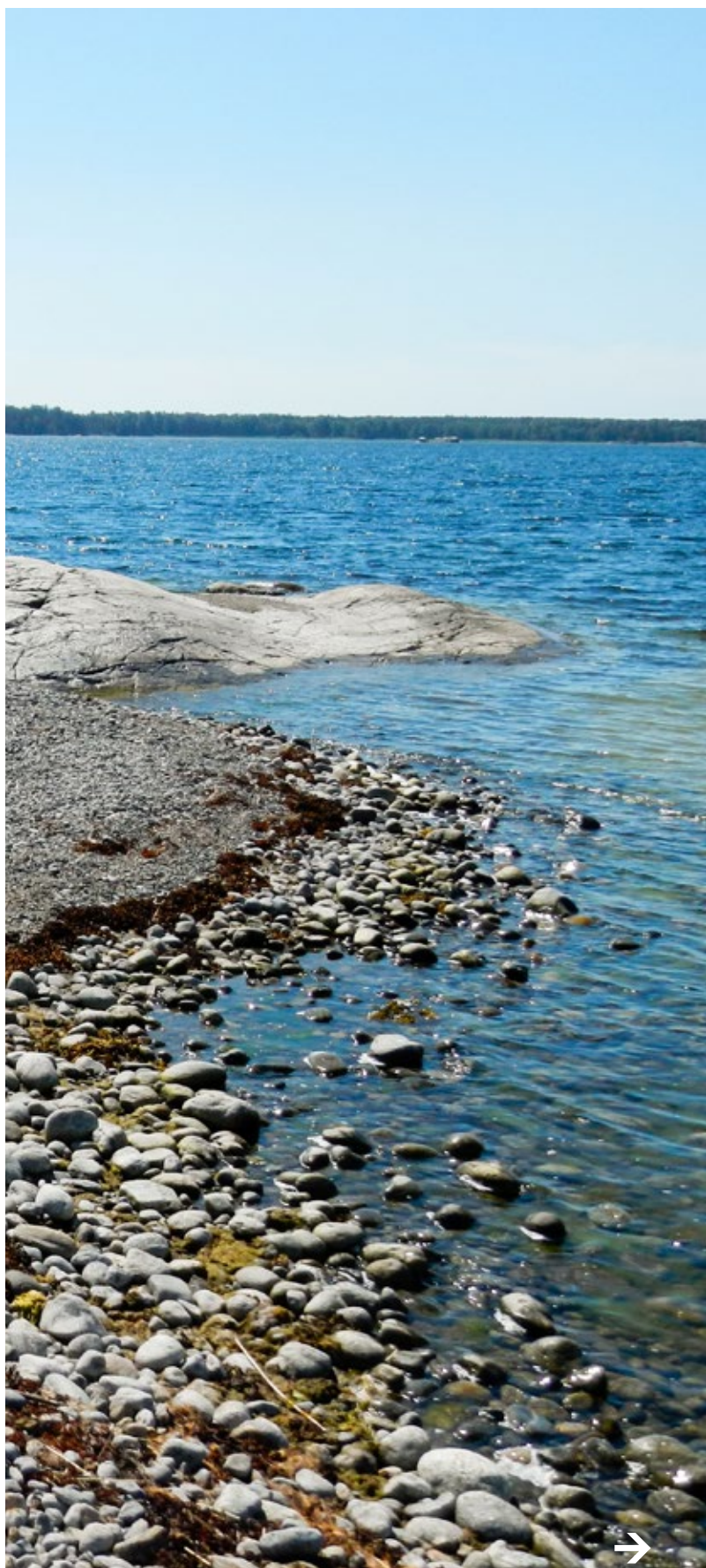
Generellt mäter SGU grundvattennivåerna på platser där grundvattenytan bedöms vara opåverkad av mänsklig aktivitet. I praktiken innebär det att SGU undviker att mäta grundvattennivåer i närheten av uttagsbrunnar, dräneringar, bergrum, tunnlar, reglerade vattendrag och liknande. Anledningen är att det blir svårare att dra generella slutsatser om den aktuella grundvattensituationen när det finns sådana osäkerhetsfaktorer som kan påverka grundvattennivån.

Då många geoenergianläggningar utförs i tätortsmiljö, där det kan förekomma påverkan från mänsklig aktivitet, kan dessa uppvisa både avvikande grundvattennivåer och variationsmönster jämfört med naturliga förhållanden. Inom områden där grundvattennivån är påverkad av uttag och framför allt verksamheter som sänker grundvattenytan, har vanligen nivåkurvorna inte så stor variation mellan högsta och lägsta nivå som visas i figuren.

Grundvattennivåer varierar mellan platser och över tid på grund av markförhållanden, väder och klimat. Därför är det en förutsättning att mätningarna är långsiktiga (många år) och omfattande (många platser) för att få relevanta och tillförlitliga resultat. Sverige är stort och omfattar många olika typer av grundvattenmagasin, väder och klimat. Därför är det inte praktiskt genomförbart att mäta och analysera nivåer för alla delar av landet och olika markförhållanden. Som komplement till mätningar beräknar SGU därför nivåer för att kunna bedöma grundvattensituationen för platser som saknar mätningar,

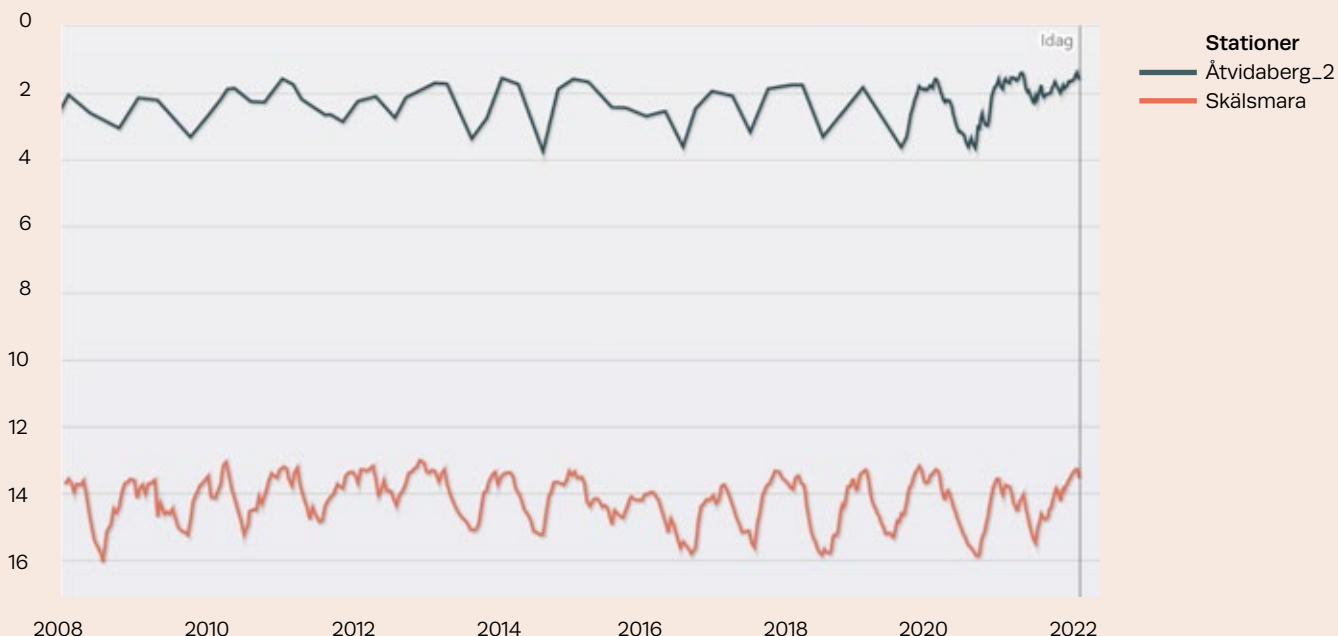
Kartvisaren för mätstationer av grundvattennivåer nås via SGU:s hemsida under fliken produkter eller kan öppnas direkt i mobiltelefonen via applikationen <https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/matstationer/>.

Information och beräkningar av **grundvattennivåer och fyllnadsgrad** i grundvattenmagasin kan också nås via <https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/berakningsmodell/>.



Nivå i meter under markytan för flera stationer

Diagrammet visar grundvattennivå i meter under markytan för uppmätta nivåer



FIGUR 22 Grundvattennivåmätningar från två av SGU:s mätstationer i urberg (Åtvidaberg_2 i Östergötland och Skälsmara i Ingarö, Stockholms skärgård).



samt för att kunna förutsäga framtida grundvattennivåer.

I berggrunden varierar grundvattennivån naturligt med upp till flera meter över året. Normalt ligger grundvattennivån cirka tre till fem meter under markytan. I områden med stora höjdskillnader kan det vara längre till grundvattnet på höjderna, medan grundvattennivån ofta är närmare markytan i dalgångar och i låglänta partier.

I områden med tätare jordlager (lera/silt) eller vid områden där bergmassan är sprickfri, kan grundvattnets trycknivå stå ovanför markytan på den aktuella platsen, så kallade artesiska förhållanden.

Man skiljer även mellan grundvattenyta och trycknivå. Grundvattenytan är gränsyta mellan grundvattenzonen och den ovanliggande markvattenzonen. Grundvattnets trycknivå i en punkt i grundvattenzonen är den nivå vattnet skulle stiga till i ett öppet rör som har kontakt med atmosfären. Vanligen används begreppet grundvattennivå när det inte finns några

tätare lager mellan markytan och grundvattenzonen. Begreppet trycknivå används i de fall tätare lager finns mellan grundvattenzonen och markytan.

Grundvattenkvalitet (salt)

Klorid (Cl) förekommer naturligt i svenska grundvatten. Vanligtvis är halterna låga, men högre halter kan förväntas i kustnära lägen (cirka 500 meter), i vissa bergarter och i områden med relict saltvatten från den senaste istiden (det vill säga områden under den så kallade marina gränsen, se Figur 23).

Risken för inträngning av saltvatten ökar med ökat djup. Detta gäller särskilt i låglänta områden, exempelvis nära kusten. Geoenergianläggningar i områden med höga halter klorid kan påverka vattenuttag i omgivningarna. Se mer i kapitlet "Områden där speciell hänsyn bör tas vid borrning, borrning inom vattenskyddsområden och vid förorenad mark", se sidan 34.

Klorid tillförs marken naturligt via havssalter. Dels lösta i nederbörden, dels som partiklar. I vindutsatta lägen längs västkusten kan detta resultera i höga

kloridhalter i grundvattnet. I havsstrandnära områden kan inträngning av nutida havsvatten förekomma i djupbörade brunnar nära strandkanten. Problem med saltvatteninträngning (relikt såväl som nutida) kan förvärras vid stora uttag av grundvatten i bergbörade brunnar och i jordgrundvatten med dålig omsättning av vatten.

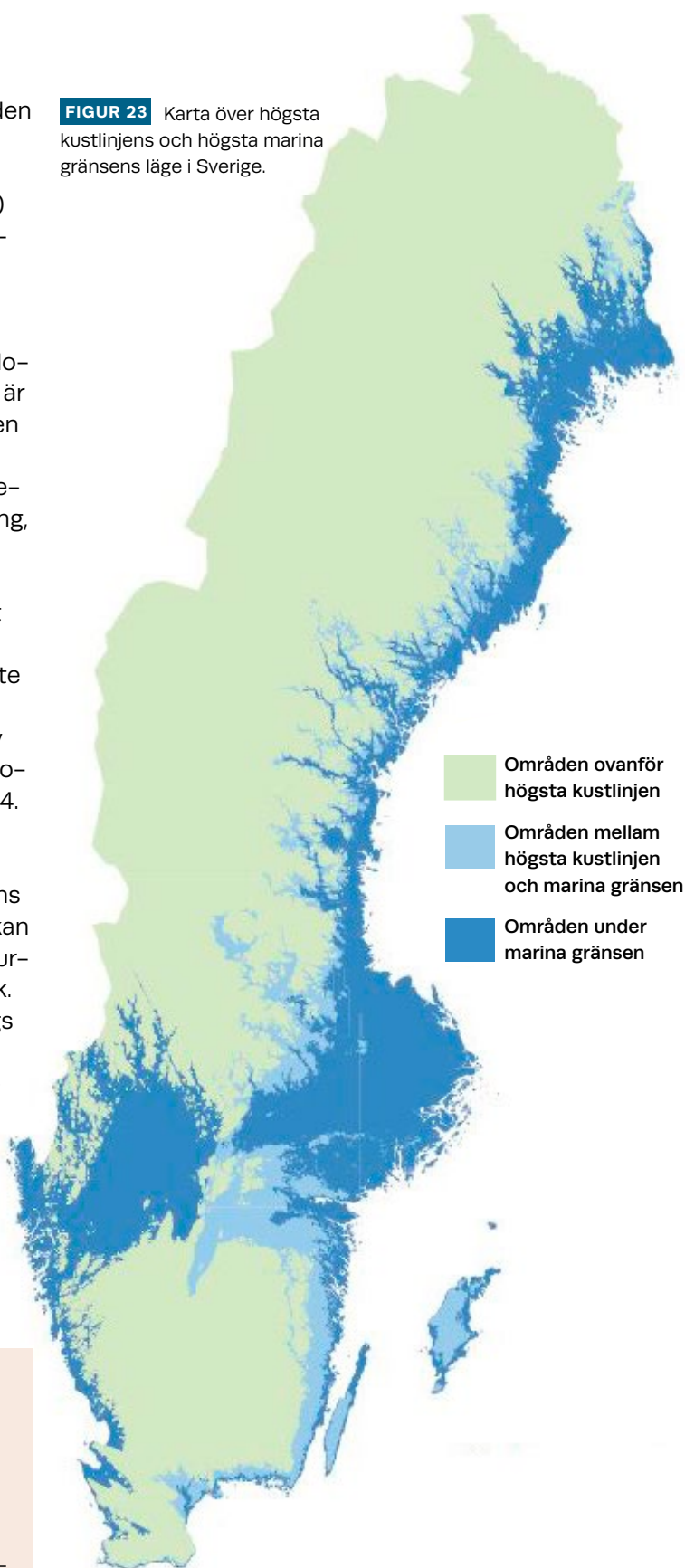
Grundvattnet i städer innehåller ofta höga halter klorid, då användningen av salt (främst natriumklorid) är stor i bebyggda områden. Men även på landsbygden kan den mänskliga tillförseln vara betydande. Förhöjda halter av klorid kan komma från lokala föroreningskällor, som till exempel vägsaltning, djurhållning, avlopp eller lakvatten från deponier.

Vid all brunnborrning ska grundvattnets kloridhalt eller konduktivitet mätas var 20:e meter eller när vattentillgången förändras för att kontrollera att inte salt påträffas. Vid höga halter klorid ska man alltid överväga att återfylla eller avtäta hela eller delar av borrhålet, se mer under kapitlet "Områden med geologiska risker och försiktighetsåtgärder", se sidan 34.

Bergarts kemi

Det är svårt att med en karta visa exakt var det finns berggrund, förutom alunskifferområdena, där det kan vara förhöjda halter av de metaller som ingår i Naturvårdsverkets lista och klassning för förorenad mark. En viss hjälp ger Sveriges geologiska undersöknings kartvisare för bergarts kemi. Den visar var det finns provpunkter och analysvärden på många olika element, ofta även de som ingår i Naturvårdsverkets klassning. Observera dock att dessa analyser ofta är från prov tagna på mindre mineraliseringar eller avvikande bergarter och inte alltid på huvudbergarten.

FIGUR 23 Karta över högsta kustlinjens och högsta marina gränsens läge i Sverige.



- Områden ovanför högsta kustlinjen
- Områden mellan högsta kustlinjen och marina gränsen
- Områden under marina gränsen

HÖGSTA KUSTLINJEN, HK, visar den högsta nivån i terrängen där strandmärken från det hav, eller de stadier av Östersjön, som täckte delar av landet vid inlandsisens försvinnande, påträffas. Exempel på strandmärken är erosionshak och strandvallar.

Högsta kustlinjen varierar i hela landet. De högsta nivåerna, cirka 289 meter ovan dagens yta, finns i Ångermanland. I sydligaste Sverige ligger högsta kustlinjen endast 10–20 meter ovanför dagens havsyta.





Hydraulisk konduktivitet (K) i berggrunden

Markens förmåga att släppa igenom vatten, ofta uttryckt som hydraulisk konduktivitet, K (m/s), är i många fall en nyckelparameter för frågor om grundvatten som rör dricksvattenförsörjning eller infrastrukturprojekt. I sammanhang som enskild vattenförsörjning, tunnlar, bergtäkter och gruvor är därmed hydraulisk konduktivitet i berg en mycket viktig faktor att beakta.

En grundläggande förutsättning för att vatten i någon större utsträckning ska kunna transporteras genom marken är att det finns håligheter som står i förbindelse med varandra. I jord kan dessa håligheter vara porer mellan partiklar. I berg är det snarare öppna, vattenfyllda sprickor som utgör grunden för en vattentransport. Hur genomsläpplig en specifik spricka är avgörs av flera faktorer, exempelvis hur öppen sprickan är, hur ojämna sprickväggarna är och hur rak sprickan är. Hur öppen en spricka är kan i sin tur till exempel bero på kemiska utfällningar i sprickan och sprickans riktning i förhållande till bergspänningar.

För en specifik bergmassa avgör den sammanlagda effekten av sprickorna i området bergets genomsläpplighet. Exempelvis kan en brunn ha samma totala hydrauliska konduktivitet med en mer genomsläpplig spricka eller flera mindre. I detta sammanhang tillkommer förutom sprickornas individuella egenskaper också till exempel hur tätt det är med sprickor, hur långa de är och deras riktningar. Eftersom bergets hydrauliska egenskaper till stor del bestäms av sprickor som kan vara mer eller mindre allmänt förekommande, kan den hydrauliska konduk-

tiviteten vara mycket heterogen, speciellt betraktat inom ett mindre område. Det innebär att det är mycket svårt att uttala sig om områdets hydrauliska konduktivitet baserat på en eller ett fåtal brunnar i berg.

Det är viktigt att inse att en hög hydraulisk konduktivitet inte betyder att grundvattnet rör sig i snabb takt genom marken. Vilket håll och hur snabbt grundvattnet rör sig avgörs även av den hydrauliska gradienten, det vill säga lutningen på grundvattenytan. Vid ostörda förhållanden, det vill säga när det inte sker några större uttag ur brunnar i berggrunden, är gradienten flack och grundvattnets flödeshastighet i bergmassan därmed låg. Sker större uttag ur en eller flera brunnar i ett område, sänks grundvattenytan lokalt runt brunnarna. Det ökar flödet genom bergmassan. I allmänhet är påverkan från enskilda uttag i berg relativt begränsad kring brunnen.

SGU har tagit fram en kartvisare där berggrundens hydrauliska egenskaper framgår (Figur 24). Den baseras på uppgifter från brunnborrningar. En djupnormering av uppgifterna har utförts, varför den ska representera hydraulisk konduktivitet i berg inom 100 meter från markytan. Uppgifter om hur mycket vatten brunnarna bedömts ge vid borttillfället finns i SGU:s kartvisare Brunnar. Det går inte att utläsa den hydrauliska gradienten från kartvisaren.

Kartvisaren för hydraulisk konduktivitet i berg (1:100 000) nås via SGU:s hemsida under fliken produkter eller kan öppnas direkt i mobiltelefonen via applikationen <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-hydraulisk-konduktivitet.html>.

Mer information om hur kartunderlaget tagit fram finns i rapporten Hydraulisk konduktivitet i Sveriges berggrund: <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport202109rapport/s2109-rapport.pdf>.

Kartvisaren Brunnar nås via SGU:s hemsida under fliken produkter eller kan öppnas direkt i mobiltelefonen via applikationen <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-brunnar.html>.



FIGUR 24 Utdrag ur kartvisaren "Hydraulisk konduktivitet i berg", där den mer genomsläppliga sandstenen under Jönköpings tätort framträder tydligt mot det mer täta och mindre vattenförande urberget runt omkring.



Geologisk information – var finner jag den?

Vilka andra borrhningar finns i området som kan ge mig information?

- Se SGU:s kartvisare för brunnar
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-brunnar.html>

Är det stora jorddjup där jag ska borra?

- Se SGU:s jorddjupsmodell
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jorddjup.html>
och intilliggande brunnsuppgifter <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-brunnar.html>

Om det är mäktiga jordlager, hur ser lagerföljden ut?

- Se om det finns lagerföljder i SGU:s kartvisare
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-lagerobservationer.html>

Vad är det för typ av berggrund i området?

- Se SGU:s kartvisare för berggrundsinformation
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html>

Kan berggrunden i området ha avvikande värmeledningsförmåga?

- Se SGU:s kartvisare för geoenergi "prognoskarta för värmeledningsförmåga",
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-geoenergi.html>, och modaldata för punkter
med beräknade värmeledningstal

Kan borrhkaxet innehålla höga metallhalter som gör att det måste omhändertas?

- Kontrollera om borrhningen ligger inom alunskifferområden eller inom berggrund med förhöjda metallhalter.
Se SGU:s kartvisare för berggrund
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html>
samt kartvisaren för bergartskemi <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-bergartskemi.html>
- Vid osäkerhet om speciella miljöhänsyn måste tas kan en kemisk analys utföras.

Information om lakegenskaper för naturballast

- Dataunderlag för lakegenskaper hos naturlig ballast och moräner
<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19019/lakegenskaper-for-naturballast-bergmaterial-och-moraner-varmeforskrapport-961.pdf>

Kartjänster som visar annan relevant information:

Ligger planerad borrhning inom skyddsområden för grundvatten och finns det speciella krav, hänsyn, tillstånd eller restriktioner?

- Kontrollera med kommunen, Naturvårdsverkets karttjänst Vic Natur
<https://skyddadnatur.naturvardsverket.se>

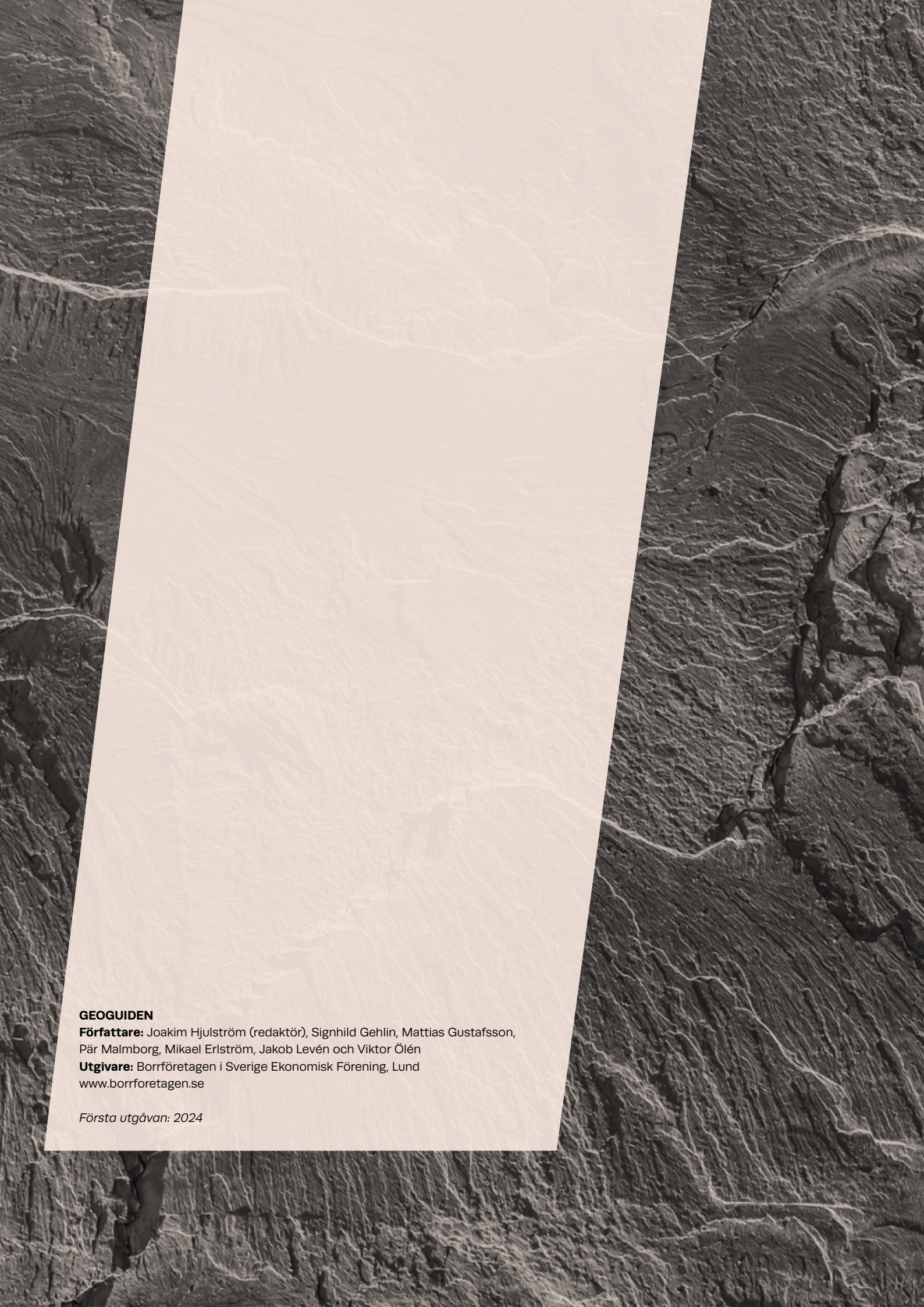
Ligger planerad borrhning inom förorenad mark och finns det speciella krav, hänsyn, tillstånd eller restriktioner?

- Kontrollera med kommunen, EBH-kartan
<https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c>

Fördjupning – var finner jag mer information?

- Guide för Geoenergi:
<https://skr.se/download/18.3c9f9e1e17db3f33e521fbc/1639421715007/7585-572-1.pdf>
- System för värme och kyla ur mark – En nulägesbeskrivning (SGI 2001)
<https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/varia/pdf/sgi-v511.pdf>
- Svenskt Geoenergicentrums råd och anvisningar:
<https://geoenergicentrum.se/publikationer-2/rad-och-anvisningar/>
- Mer information om värmepumpar för geoenergi och köldbärare finns i Bergvärme på djupet
<https://skvp.se/webshop/tidningar-o-litteratur/bergvarme-pa-djupet>
- Mer information om köldbärare för geoenergisystem finns här:
<http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:840791/FULLTEXT01.pdf>
- Mer information om köldmedier och lagstiftningen kring dem:
<https://alltomfgas.se/> samt varmtochkallt.se/koldmedier/
- Mer information om markvärmeanläggningar:
<https://markvarme.se/sa-fungerar-markvarme/>



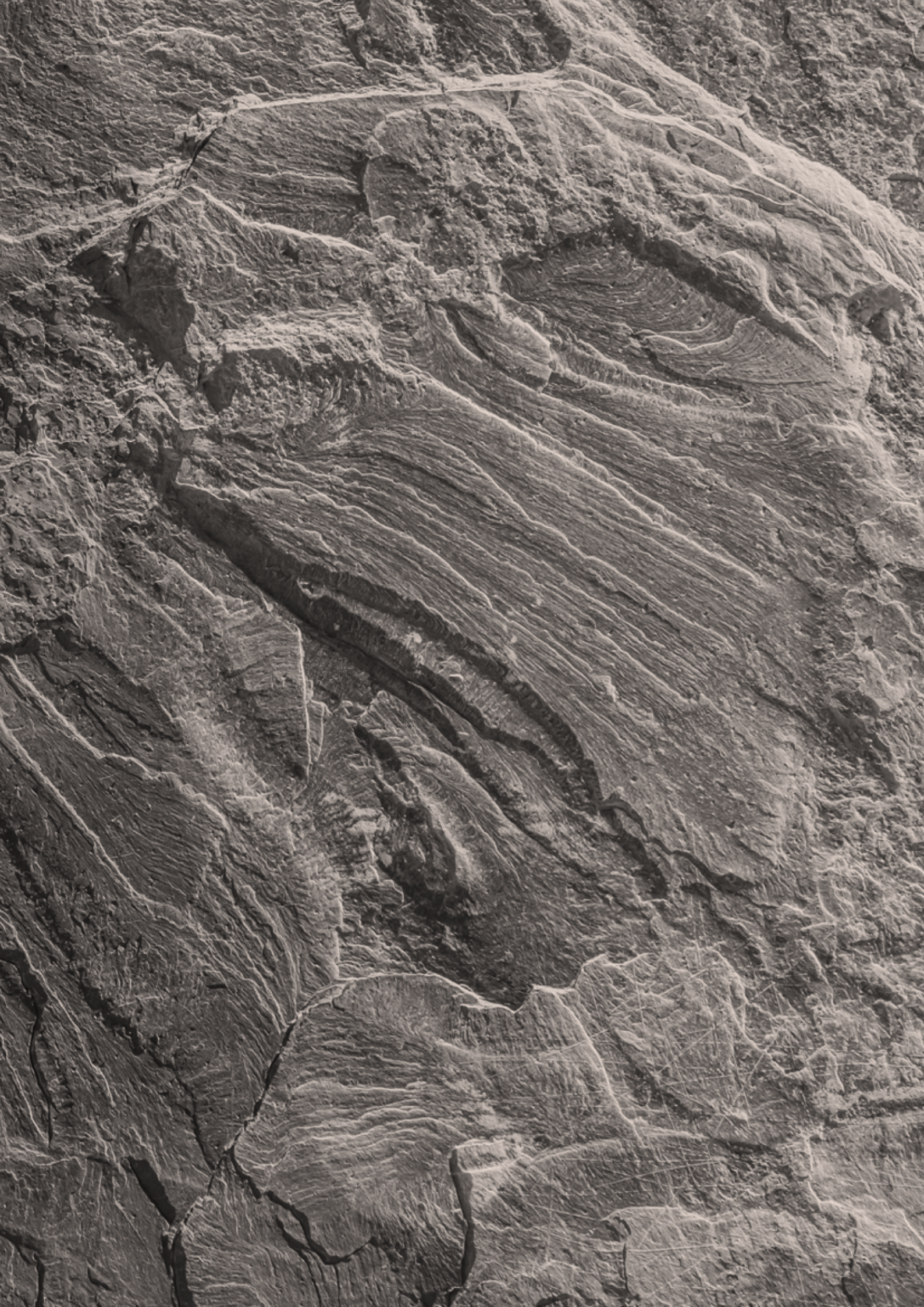


GEOGUIDEN

Författare: Joakim Hjulström (redaktör), Signhild Gehlin, Mattias Gustafsson,
Pär Malmborg, Mikael Erlström, Jakob Levén och Viktor Ölen

Utgivare: Borr företagen i Sverige Ekonomisk Förening, Lund
www.borrforetagen.se

Första utgåvan: 2024





BORR  FÖRETAGEN®

