

# COOLGEOHEAT

*”5th generation district heating and cooling” (5GDHC)”*

## Geologisk information som stöd till utförande av energiborrning

Underlag för beräkningsmodeller och  
utformning av ”Best Practice”, WP 3 och WP 6

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Mikael Erlström

12 september 2022

## Innehåll

Inledning.....	3
Jordlagrens tjocklek ”jorddjup” .....	4
Var finns information om jordlagrens tjocklek - jorddjupet?.....	5
SGUs Kartvisaren för Jorddjup.....	5
Berggrundens termiska egenskaper.....	6
Vad är temperaturen på djupet?.....	7
Specifik värmekapacitet vad är det? .....	7
Värmeproduktionen i berggrunden vilken betydelse har den? .....	8
Värmeflöde.....	8
Var finns information om berggrundens värmeledningsförmåga?.....	9
Jordlagrens termiska egenskaper.....	9
Grundvattennivåer .....	9
Grundvattenkvalitet (salt) .....	10
Hydraulisk konduktivitet (K) i berggrunden .....	11
Borrning inom vattenskyddsområden och förorenad mark .....	12
Borrkax .....	13
Checklista Geologisk information.....	14
Litteratur.....	15

## Inledning

Ökad samverkan och förståelse mellan ingenjörer, tekniker och designers av geotermianläggningar, och geologer är en viktig del i att hållbart kunna utnyttja marken för ytnära geotermi på bästa sätt. Inom COOLGEOHEAT projektet ingår bland annat att kommunicera vilken typ av geologisk information som finns och hur den kan stödja utformningen av en brunnsparc för femte generationens fjärrvärmesystem för värme och kyla (*5th Generation District Heating and Cooling, 5GDHC*).

Information och kunskap om de platsspecifika geologiska förutsättningarna har stor betydelse för borrhningens utförande och de termiska förhållandena i marken. Med kunskap om jordlagren och berggrundens uppbyggnad, jordlagrens tjocklek, grundvattenförhållanden och markens värmeledande egenskaper kan en geoenergianläggning utformas på bästa sätt avseende borrhjup, effektuttag och minsta miljöpåverkan.

I många fall är dagens tekniska systemlösningar baserade på standardiserade beräkningar och homogena markförhållanden. Vi vet dock, speciellt för Sverige, att det finns stora lokala geologiska variationer som har stor betydelse för borrhjupet, effektuttaget och påverkansområdet. Vi vet också att en felaktig design som baseras på dålig kunskap om de geologiska förhållandena kan resultera i otillräcklig effekt, dyra borrhkostnader, påverkade grundvattenmagasin och oönskad påverkan på miljön. Genom god kunskap om markens uppbyggnad minskar risken för att detta ska ske.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) tar idag fram och tillhandahåller anpassad information för den ytnära geotermien. Här ingår riktlinjer för borrhning (Normbrunn-16, <https://resource.sgu.se/produkter/broschyrrer/vagledning-normbrunn-16.pdf>), nationell jorddjupsmodell och information om berggrundens värmeledningsförmåga, värmekapacitet, grundvattenförhållanden, grundvattentemperaturer med mera. Dessutom finns en nationell databas med borrhade brunnar. Flera av dessa tjänster finns idag tillgängliga via SGUs hemsida och som mobilapplikation. Idag kan man via SGUs kartvisare <https://apps.sgu.se/kartvisare/index.html> få information om; jorddjup, brunnar, jordlager, berggrund, hydraulisk konduktivitet i berggrunden. Dessa kommer inom kort att kompletteras med datapunkter med termisk ledningsförmåga och värmekapacitet samt en nationell prognoskarta för berggrundens värmeledningsförmåga.

I samverkan med borrhbranschen och Svensk Geoenergicentrum pågår även ett arbete med att ta fram en handledning för borrhning av slutna geoenergisystem i berggrunden. I denna ges en sammanfattande beskrivning av var man kan finna geologisk information till stöd för planering, design och borrhning.

På följande sidor följer en beskrivning av olika typer av geologisk information som i varierande grad bör beaktas i samband med att man bland annat bedömer förutsättningarna för borrhning och markens termiska egenskaper. Beskrivningen avslutas med att presentera en checklista som ett stöd till vad man bör ta reda på innan man påbörjar en borrhning.

Beskrivningen baseras främst på svenska geologiska förhållanden och ska ses som en del i att ta fram underlag för beräkningsmodeller (WP3) och riktlinjer för en *Best Practice* (WP6) för svenska 5DGHC anläggningar inom COOLGEOHEAT-projektet.

## Jordlagrens tjocklek ”jorddjup”

Jordlagrens tjocklek eller jorddjupet enligt SGUs definition har stor betydelse för planeringen av en geoenergi borrhning eftersom en stor del av den totala borkkostnaden kan kopplas till kostnader för jordborring med foderrörsdrivning.

I Sverige är jordlagren vanligtvis mindre än 20 m tjocka. Det finns dock stora variationer där de lokalt kan vara flera tio-tals-meter till över 100 m tjocka, exempelvis i 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 m och påträffas i trakten av centrala Jönköping.

I områden med kristallint urberg (ex. granit, och gnejs) är jordlagren ofta tjocka i anslutning till sprickdalar, förkastnings- och vittringszoner. I västkustens sprickdalslandskap påträffas tjocka 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 tjocka 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 tjocka jordlager som ofta är sandiga och vattenförande.

Inom områden med sedimentär berggrund (ex. sandsten, kalksten och skiffer) är jorddjupen lokalt stora på grund av att dessa bergarter inte är lika hårda som det kristallina urberget och därmed lättare eroderats i samband med senaste istiden. I till exempel delar av Skåne har även den sedimentära berggrunden samma hållfasthet som jordlagren vilket förutom svårighet att bestämma jordlagrens mäktighet leder till att foderrörsdrivning inte enbart måste göras i jordlagren utan även ett stycke 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 (fig. 1).

*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.



Figur 1. SGUs nationella jorddjupsmodell

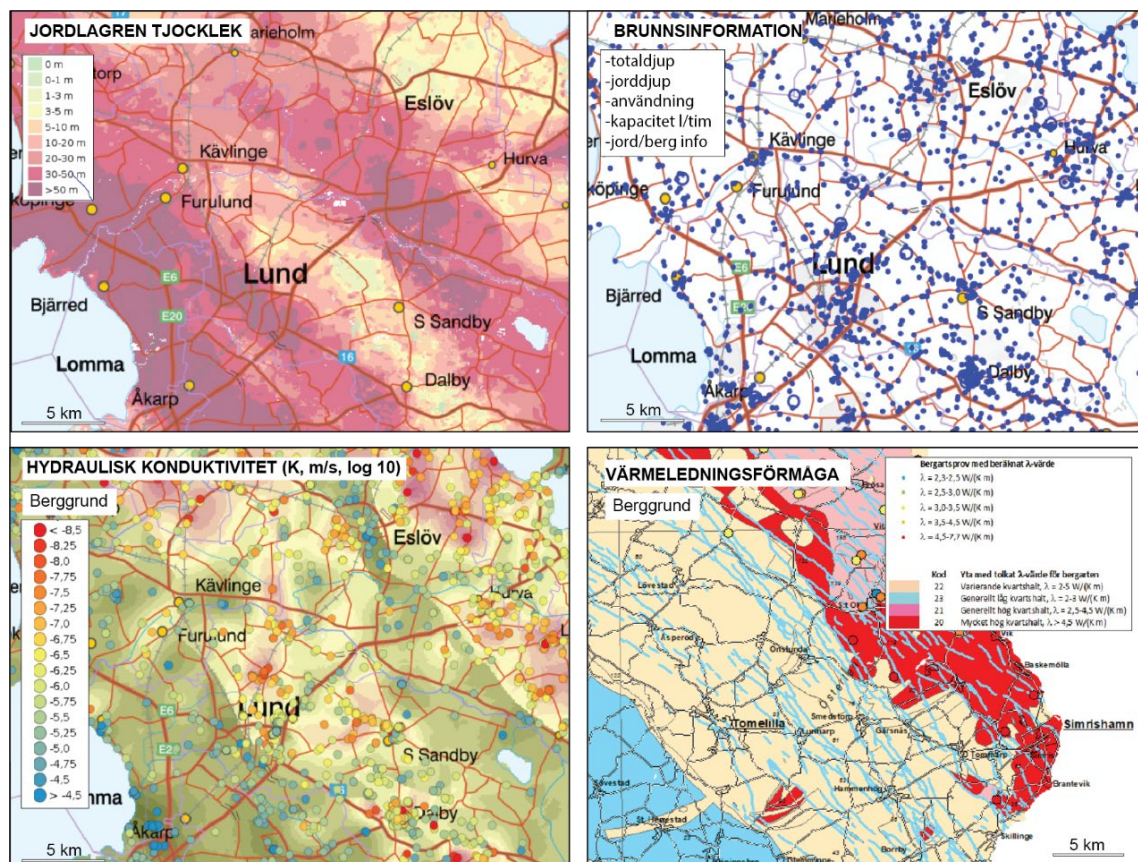
## Var finns information om jordlagrens tjocklek - jorddjupet?

Information om jordlagrens tjocklek kommer främst från brunnborrningsuppgifter som lagras i SGUs Brunnarkiv. Förutom uppgifter om borrhningens placering, djup och grundvattnet finns här information om djup ner till berggrundsytan och i vissa fall även information om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad. Totalt finns cirka 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 geoenergiborringar (se exempel i fig. 2).

SGU har tagit fram en rikstäckande jorddjupsmodell (fig. 1), som till stora delar bygger på SGUs brunndata, men även på information i jorddatabasen om berg i dagen (hälltytor) och den hydrogeologiska parameterdatabasen. Den senare innehåller bland annat uppgifter om jordlagren från sonderingsborringar och geofysiska undersökningar. Eftersom det finns ett tydligt samband mellan jordlagrens tjocklek och jordartstyp tar den rikstäckande modellen även hänsyn till jordlagrens bildningssätt och uppbyggnad (jordlagerföljder). Osäkerheten i modellen varierar givetvis i förhållande till datatätheten. Inom områden med homogen berggrund och enkla jordlagerförhållanden har modellen en hög tillförlitlighet trots ett glesare dataunderlag. I geologiskt komplexa områden bör man vid användandet av modellen beakta att det kan vara stora lokala avvikelser. Därför bör man alltid vid användandet av modellen informera sig om datatätheten i det aktuella området.

## SGUs Kartvisaren för Jorddjup

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.



Figur 2. Exempel på geologisk information från Sveriges geologiska undersökning som kan vara viktig för bedömning av borrhning och utformning av anläggning för ytbara geotermi. Merparten av informationen finns idag även tillgänglig via SGUs mobilapplikation (<https://apps.sgu.se/kartvisare/index.html>)

Jorddjupsobservationer består av jorddjupsuppgifter från olika databaser vid SGU som innehåller stratigrafiska observationer eller på annat sätt uppgifter om jorddjup eller hålobservationer. Observationerna som antingen är punkter där jordmäktigheten 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 SGUS databaser vilket gör att det kan finnas skillnader mellan brunnsuppgifter i SGUS brunnsarkiv och de jorddjupsuppgifter som anges i den senaste uppdaterade jorddjupsmodellen.

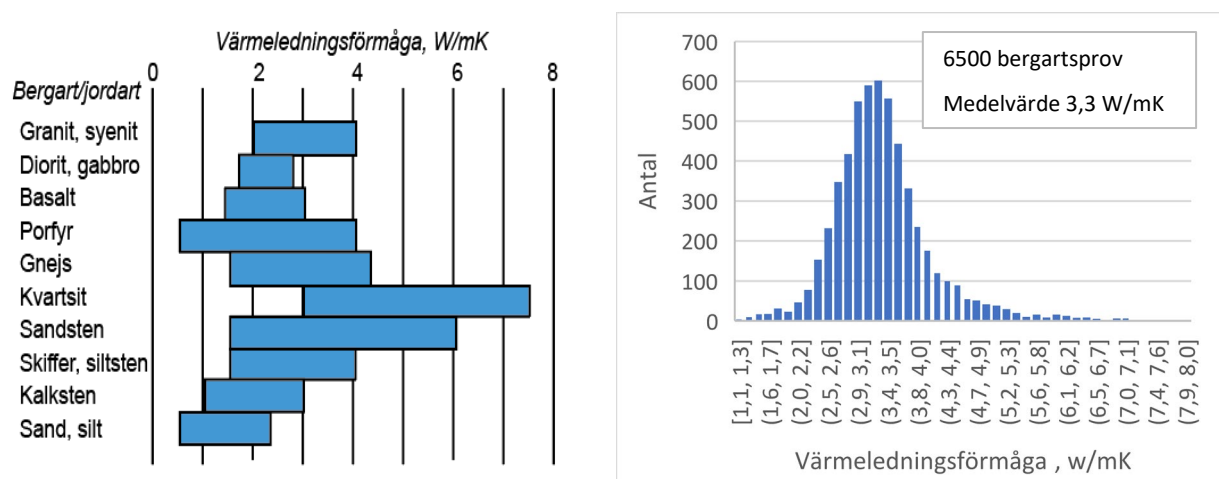
Kartvisaren för jorddjup nås via SGUs hemsida under fliken produkter eller kan öppnas direkt i mobiltelefonen via applikationen <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jorddjup.html>. (se fig. 2)

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

## Berggrundens termiska egenskaper

Effekten ur en bergborrad energibrunn är främst beroende av värmeledningsförmågan i den direkta omgivningen till borrhålet. Vid dimensionering av ett bergvärmesystem används idag i regel en branschgemensam 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 för bedömning av vilket borrhåldjup som krävs. Med rätt kunskap om bergarternas värmeledningsförmåga kan brunnsdjupen anpassas till effektbehovet. Det nödvändiga borrhåldjupet som krävs för att uppnå en bestämd energieffekt kan beroende på berggrundens värmeledningsförmåga variera med upp till 40 procent.

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 ( $\lambda$ ) mäts i Watt per meter och Kelvin (W/mK). Vissa bergarter är bättre ledare av värme än andra beroende 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 2–2,5 W/mK medan den hos kvartsrikare bergarter som till exempel granit vanligtvis 3–4 W/mK. Värmeledningsförmågan kan vara uppemot 7 W/mK i mycket kvartsrika bergarter, som till exempel kvartsit eller sandsten (fig. 3).



Figur 3. Exempel på värmeledningsförmågan för olika bergarter och jord (vänster). Fördelningen av värmeledningsförmågan på 6500 olika bergartsprov från svensk berggrund (höger)

Värmeledningsförmågan för de kristallina bergarterna varierar också inte lika mycket som för de sedimentära bergarterna. SGUs beräkningar av värmeledningsförmågan utifrån mineralfördelningen i 6500 bergartsprov, främst kristallina bergarter, ger ett medelvärde på 3,3 W/mK (fig. 3). Merparten av värdena ligger mellan 2,5 och 4,0 W/mK. Lägre värden representerar mestadels mycket kvartsfattiga basiska bergarter, exempelvis basalt och vissa sedimentära bergarter som kalksten, siltsten och skiffer. Värden över 4,0 W/mK är vanligtvis kvartsit och sandsten

Observera att värmeledningsförmågan på bergarterna baseras på från beräkningar och analyser av enskilda prov i laboratorier. Dessa värden kan avvika betydligt från de värden som kan fås vid en mätning av borrhålets sammanlagda värmeledningsförmåga. Avvikelserna beror oftast på en skalfaktor där *in situ* förhållandena som bergartsfördelningen i den genomborrade bergvolymen och faktorer som sprickighet, vattenhalt och grundvattenrörelser inverkar.

*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/mK.

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

Värmeledningsförmågan för vatten är ca 0,55 W/mK, för is ca 2,2 W/mK och för luft ca 0,025 W/mK.

Mätningar av värmeledningsförmågan i borrhål kan göras med så kallad TRT-mätning (termisk responstest). TRT-mätningen utförs under kontrollerade förhållanden, där värmemängden som tillförs borrhålet och temperaturen registreras via en uppvärmd kollektorslinga i borrhålet. En sådan mätning tar cirka 2–3 dagar att utföra. Resultaten används för att beräkna berggrundens värmeledningsförmåga, även kallad för den skenbara eller effektiva värmeledningsförmågan samt termisk resistivitet mellan den värmebärande vätskan i kollektorslangen och borrhålet.

### Vad är temperaturen på djupet?

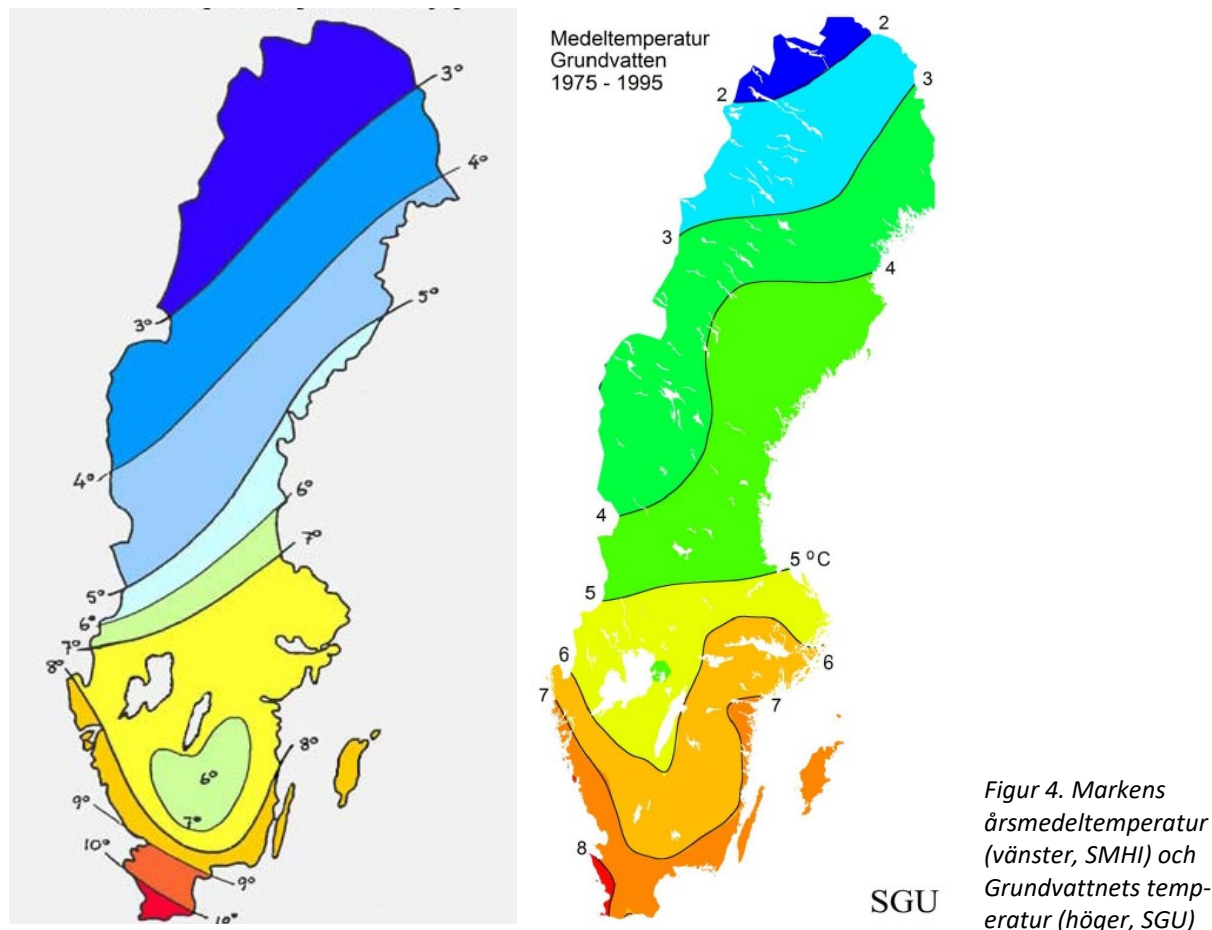
Temperaturen i berggrunden har betydelse för värmeuttaget eftersom den möjliga temperatursänkningen i borrhålet är avgörande för anläggningens effektuttag. Berggrundens (grundvattnets) temperatur på tiotals meters djup kan i den södra delen av Sverige förenklat antas vara lika med årets genomsnittliga utomhustemperatur. Marktemperaturen skiljer sig från cirka 9–10°C i söder till mindre än 3°C i norr (data från 2015) (fig. 3). På djupet tilltar temperaturen i Sverige med 15–30°C/km. SGU har idag cirka 500 stationer runt om i landet där grundvatten temperaturen mäts kontinuerligt (fig. 4).

Generellt kan man säga att temperaturen på 300 m djup i svenskt urberg är mellan 12 och 15 grader. I de relativt ytliga delarna av marken, ned till några tiotals meter djup, påverkas temperaturen mestadels av solens värmande effekt. Därunder beror temperaturen på det geotermiska värmeflödet successivt alltmer från jordens inre. I djupa borrhål är ett högt värmeflöde tillsammans med hög temperatur avgörande för ett högt energiuttag. I Sverige varierar värmeflödet vid jordytan mellan 20 och 100 mW/m<sup>2</sup>, med ett medelvärde på ca 50 mW/m<sup>2</sup>. Dessa värden kan jämföras med ett medelvärde på 60 mW/m<sup>2</sup> i Centraleuropa.

### Specifik värmekapacitet vad är det?

Specifik värmekapacitet eller värmekapacitivitet (äldre namn som används är specifik värme) anger ett materials förmåga att lagra termisk energi. Man brukar tala om ett materials termiska tröghet. Det definieras hur mycket energi som krävs för att höja temperaturen en grad för ett kilo material (berg). Enheten anges normalt i Joule per kilo Kelvin men i det här fallet kan man ersätta Kelvin med grader Celsius. Omvänd uttryckt är det ett mått för hur mycket värmeenergi som kan 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 vattens låga värmeledningsförmåga, understryker detta dess betydelse för en geoenergianläggningar.



### Värmeproduktionen i berggrunden vilken betydelse har den?

Förutom värmeledning kan även värmeproduktionen i berggrunden ha betydelse för bergvärmeanläggningar. 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 bergvärmeanläggningen. Halterna av de nämnda elementen mäts genom radiometrisk mätningar som utförs inom SGUs geofysiska kartering, antingen från mark- eller flygmätningar.

### Värmeflöde

Värmeflöde (eller geotermiskt flöde) avser den värmeenergi som markytan avger. Detta uttrycks i milli Watt per kvadratmeter och sekund. Värmeflödet beror bland annat på jordskorpans tjocklek, värmeledningsförmåga och värmeproduktivitet. Merparten härrör från konvektion i jordens inre (manteln) samt värmeproduktion i jordskorpan. I medeltal är värmeflödet cirka 50 mW/m<sup>2</sup>, dvs. värmeflödet från en vanlig villatomt skulle kunna hålla en 40 watts

Specifika värmekapacitet (kJ/kgK) har betydelse för hur bra värme kan lagras i berggrunden

Värmeproduktion (μW/m<sup>3</sup>) anger vilken värmeeffekt berggrunden har

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



glödlampa lysande. I Sverige är värmeflödet 50–70 mW/m<sup>2</sup> i söder medan det i norr vanligtvis är mellan 30 och 40 mW/m<sup>2</sup>.

Lokalt kan värmeflödet vara högre där det finns graniter med högre värmeproduktion som till exempel i Bohuslän.

### Var finns information om berggrundens värmeledningsförmåga?

Via SGUs kartvisare för geoenergi (planerad klar slutet 2022) kan man se en prognoskarta för berggrundens värmeledningsförmåga (se fig. 2). Denna är baserad på beräkningar och klassning av värmeledningsförmågan från bergartsanalyser och SGUs berggrundskartor. Totalt finns idag cirka 6500 analyser som underlag till kartvisaren. Dessa så kallade modaldata finns också att ladda ner från SGUs 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 laboriemätningar 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.

### Jordlagrens termiska egenskaper

Värmeledningsförmågan i jordlagren 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 i jordlagren är följaktligen bättre i den vattenmättade delen under grundvattenytan. Tätare jordarter med en lägre porositet har en relativt bättre värmeledningsförmåga eftersom den större kontaktytan mellan mineral- och bergartskornen gynnar värmeledningen. Marken som fryser, innehåller vatten, antingen som vätska eller ånga. Isbildningen i marken medför att jordartens värmeledningsförmåga förbättras jämfört med ofrusen jordart, 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 och har de bästa förutsättningarna för jordvärme. Jordar med ett högt innehåll av silt kan suga upp mycket vatten, även från djupet. Morän har normalt sett ett tillräckligt stort innehåll av lera och silt för att kunna ha en vattenhållande förmåga, men i de fall moränen är grovkornig kan dess vattenhållande förmåga vara jämförbar med sand. Sandlager under grundvattenytan kan dock ha en mångdubbelt bättre ledningsförmåga jämfört med en sand ovan grundvattenytan.

### Grundvattennivåer

SGU har övervakat grundvattennivåer i olika delar av Sverige sedan 1966. 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 i nivåövervakningen.

Syftet med mätningarna är att registrera tidsmässiga variationer av grundvattennivåer och grundvattenkvalitet för exempelvis referensändamål, prognoser, miljökontroller och resursberäkningar. Grundvattenytans läge 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

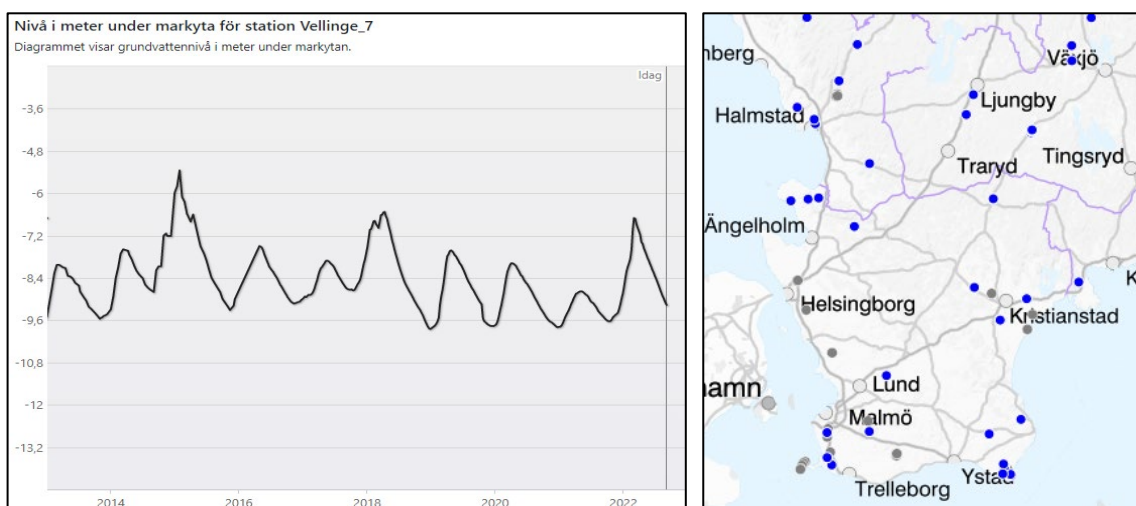
publicering av data. I figur 5 visas ett exempel på grundvattnens nivåvariationer för mätstationen Vellinge söder om Malmö.

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, berggrum, tunnlar, reglerade vattendrag och liknande. Anledningen är att det blir svårare att dra generella slutsatser om den aktuella grundvattensituationen när det finns dess osäkra faktorer som kan påverka grundvattennivån. Då många geoenergianläggningar utförs i tätortsmiljö där det kan förekomma en 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 annan verksamhet som sänker grundvattennivån har vanligen nivåkurvorna en 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. Av den anledningen är det inte praktiskt genomförbart att mäta och analysera nivåer för alla delar av landet och olika markförhållanden. Som komplement till mätningar gör SGU därför beräkningar av nivåer för att kunna bedöma grundvattensituationen för platser som saknar mätningar, samt för att kunna förutsäga framtida grundvattennivåer.

I berggrunden varierar grundvattennivån med upp till flera meter naturligt över året. Normalt ligger grundvattennivån cirka 3-5 m ned under markytan. I områden med stora höjdskillnader kan det vara längre ned till grundvattnet uppe på höjderna, medan i dalgångar och i låglänta partier är grundvattennivån ofta närmare markytan. I områden med täta jordlager (lera/silt) eller vid områden där bergmassan är sprickfri kan grundvattnets trycknivå stå ovanför markytan på den aktuella platsen (s.k. artesiska förhållanden).

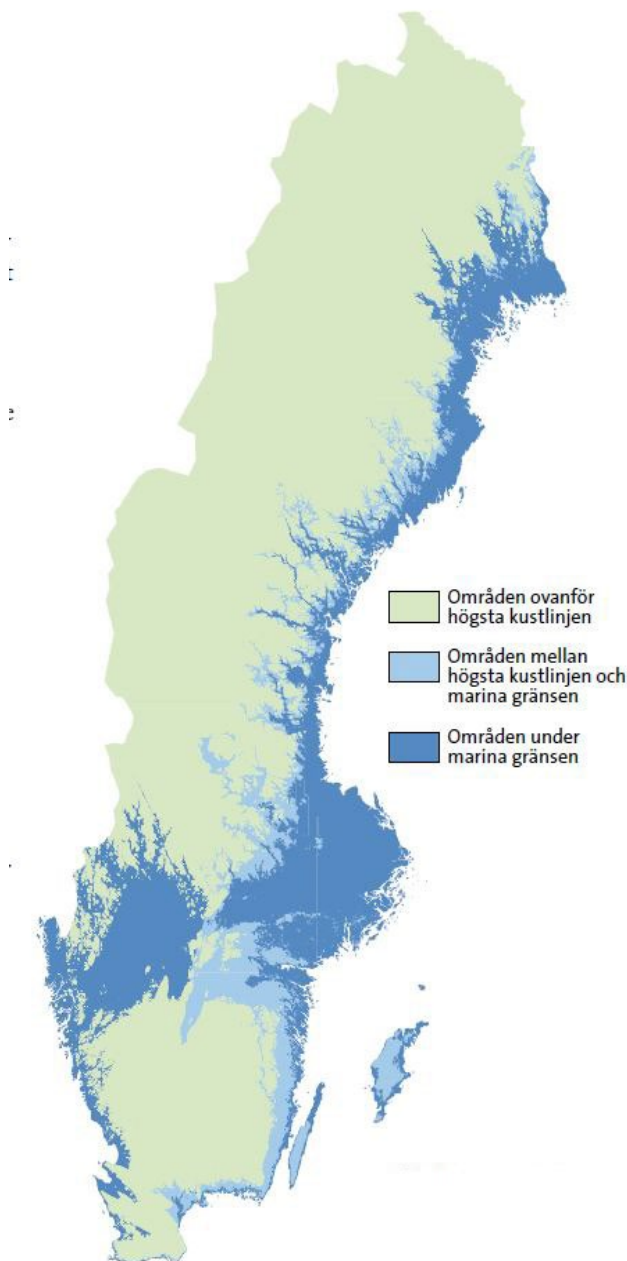


Figur 5. Exempel på nivådata från SGU:s mätstation i Vellinge söder om Malmö (vänster). SGUs mätstationer i södra Sverige.

## Grundvattenkvalitet (salt)

Klorid (Cl) förekommer naturligt i svenska grundvatten. Vanligtvis är halterna låga men högre halter kan förväntas i kustnära lägen, i vissa bergarter och i områden med reliktsaltvatten från den senaste istiden (det vill säga områden under den så kallade marina gränsen (fig. 6). Risken för

saltvatteninträngning ökar med ökat djup. Det finns alltså gränser för hur djupt en brunn kan borraras för att ge bra vattenkvalitet. Detta gäller särskilt i låglänta och kustnära områden.



Figur 6. Nationell karta som visar områden under och ovanför marina gränsen och högsta kustlinjen. (HK)

Klorid tillförs även marken naturligt via havssalter. Dels lösta i nederböden, dels som partiklar. I vindutsatta lägen längs västkusten kan detta resultera i höga kloridhalter i grundvattnet. I havsstrandnära områden förekommer inträngning av nutida havsvatten i djupborrade brunnar nära strandkanten. Problem med saltvatteninträngning (relikt såväl som nutida) kan förvärras vid stora grundvattenuttag i bergborrade brunnar och i jordgrundvatten med dålig vattenomsättning.

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

Vid all brunnsborrning ska provtagning av grundvattnets kloridhalt eller konduktivitet utföras för att kontrollera att inte salt påträffas. Vid höga kloridhalter ska det alltid övervägas att helt eller delvis återfylla eller tätas borrhålet om borrhålet kan medföra att det salta grundvattnet riskera att påverka andra brunnar i närheten.

## Hydraulisk konduktivitet (K) i berggrunden

Markens vattengenomsläppliga förmåga, ofta uttryckt som hydraulisk konduktivitet,  $K$  (m/s), är i många fall en nyckelparameter för grundvattenfrågor 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 skrovliga sprickväggarna är och hur rak sprickan är.

Öppningsgraden av en spricka kan i sin tur till exempel vara beroende av 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 sprickfrekvens (det vill säga hur tätt det är med sprickor), spricklängd och sprickriktningar.

Eftersom bergets hydrauliska egenskaper till stor del bestäms av sprickor som kan vara mer eller mindre allmänt förekommande kan den hydrauliska konduktiviteten uppvisa en stor heterogenitet, 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.

SGU har tagit fram en kartvisare där berggrundens hydrauliska egenskaper framgår, den är baserad på uppgifter från brunnsborrningar och en djupnormering av uppgifterna utfördes så den ska respektera hydraulisk konduktivitet i berg inom 100 m från markytan (fig. 2).

*Kartvisaren för hydraulisk konduktivitet i berg (1:100 000) nås via SGUs 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>

## Borrning inom vattenskyddsområden och förorenad mark

Inom vissa områden i Sverige bör särskild hänsyn tas till de geologiska förhållandena vid borrning. Det kan röra sig om områden där det förekommer artesiskt vatten, områden med sämre grundvattenkvaliteter eller områden med förorenad mark. Områden med mineraliserad berggrund och alunskiffer kan skapa speciella krav på borrningens utförande och hantering av till exempel borrhål.

Jämfört med kristallint urberg är sedimentär berggrund, särskilt sandsten men även kalksten, i många fall porös. Vattnet lagras, precis som i olika jordarter, i porutrymmen. Sådan berggrund håller ofta mer vatten än urberget, särskilt om den också är uppsprucken. Sandsten är en av landets mest vattenförande bergartstyper. Sedimentära bergarter (sandsten, kalksten och skiffer) förekommer ofta i lager på varandra. Skiffer som saknar vertikala sprickor och kan utgöra tätande skikt mellan porösa vattenförande lager. Viktigt att tänka på är att borrning genom ett tätande skikt som skiffer kan innebära en hydraulisk kortslutning av olika vattenmagasin vilket innebär att vatten med olika vattenkvalitet kan blandas via borrhålet.

Dricksvatten av god kvalitet är en av de viktigaste naturresurserna i Sverige. För att säkerställa skyddet av denna resurs krävs att den används på ett sådant sätt att det inte riskerar att skadas. Det innebär bland annat att den ska skyddas mot direkta eller indirekta riskfaktorer som kan påverka dess kvalitet eller kvantitet negativt. I anslutning till de allmänna vattentäkterna i Sverige har kommunerna och länsstyrelserna möjlighet att inrätta vattenskyddsområden för att reglera verksamheter och vidta åtgärder för att skydda vattnet. Även områden som idag inte används för vattenförsörjning, men som i framtiden kan komma att användas, kan förklaras som vattenskyddsområden. Anläggning för geoenergi är ofta reglerad i föreskrifterna till vattenskyddsområdena. Normalt sett är anläggningar förbjudna inom den primära zonen medan tillstånd krävs för anläggningar inom den sekundära skyddszonen. I de fall det finns en tertiär zon är borrning endast undantagsvis reglerad. Vissa restriktioner inom tertiär zon kan finnas för undermarksarbeten nära någon av uttagspunkterna i den

allmänna vattentäkten, och när jordlagren utgörs av mäktiga lerlager. De risker som förekommer kan antingen vara kopplade till byggfasen, vilket då omfattar borrhning, schaktning och grävning, eller den påverkan som anläggningen medför på de geologiska förhållanden samt vilka driftsrelaterade risker som finns.

Generellt går de flesta av riskerna att hantera genom en riskbedömning och att funktionella åtgärder sätts in för att minimera problem.

En borrhning 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. Med tanke på att allt fler vill nyttja geoenergi för såväl bostads- som industriområden rekommenderas att kommuner och länsstyrelser eftersträvar att en riskbedömning av borrhning och övriga undermarkentreprenader ingår när inventering/undersökning/åtgärd genomförs inom ett förorenat område. Riskbedömningen kan sedan ligga som beslutsunderlag för vilka åtgärder som bör krävas vid etablering av geoenergi. En brunn som anläggs i ett förorenat område kan i vissa fall innebära en ökad risk för att föroreningen kan spridas vidare via borrhålet. Risken är särskilt stor om föroreningen har hög löslighet och hög densitet. Åtgärder som kan vidtas är antingen att ett kontrollprogram upprättas med provtagning eller att borrhålet återfylls direkt efter borrhning för att minimera risken för föroreningsspridning. Vid borrhning ska även hänsyn tas till att geoenergianläggningen inte ska komma att försvåra en framtida sanering av området.

## Borrkax

Borrkax kallas det krossade jord- och bergmaterial som kommer upp till markytan i samband med borrhning. Ofta kommer det upp som borrhslam tillsammans med det vatten som produceras från borrhningen. Borrkaxet består av finkrossat material i ler-grusfraktionen och dess kemiska sammansättning motsvarar jordlagrens och berggrundens uppbyggnad. Färgen kan var allt från ljusgrå till svart. Andelen finmaterial varierar också kraftigt beroende på främst berggrundens hållfasthet. Normalt rör det sig om ca 0,2–0,3 m<sup>3</sup> material per 100 m borrhning. Den totala volymen slam (borrkax + vatten) är dock avsevärt större.

Generellt domineras borrkaxet av naturligt förekommande material i marken som inte är farligt annat i vissa undantagsfall. Det kan i ganska stor omfattning liknas vid morän. Det är ytterst få bergarter som utgör en risk för eventuellt läckage av metaller. Mineral som kvarts och fältspat dominerar i de flesta fall. I en utredning av lakegenskaper för bergmaterial och moräner som gjorts av svenskt avfall 2006 konstateras att gnejs och granit har generellt mycket låga halter miljöstörande ämnen som gör att det kan användas för fyllnadsmaterial och ballast.

Det finns dock områden som till exemplen alunskifferområdena där det är känt att det finns höga halter av uran, zink, kadmium, bly och arsenik där speciella hänsyn bör tas vid hantering av borrkaxet. Även inom stadsplanerade områden kan det finnas fyllnadsmassor och äldre deponier eller annan förorenad mark där speciella hänsyn bör tas för att omhänderta borrkaxet.

Mest avgörande för hantering av borrhslammet är annars generellt att det, speciellt vid borrhning i områden med dagvattensystem, genomgår slamavskiljning innan det släpps ut till kommunens dagvattennät. Vissa kommuner anger ett gränsvärde på 500 mg/l.

Det är dock svårt att ge en karta som visar exakt var det finns berggrund, förutom alunskifferområdena, där det kan vara förhöjda halter av de metaller som ingår i NVs lista och klassning för förorenad mark (tabell 1). En viss hjälp kan fås via SGUs kartvisare för bergartskemi. I den visas var det finns provpunkter och analysvärden på en mängd olika element och ofta även de som ingår i NVs klassning. Man ska dock observera att dessa analyser ofta är från prov tagna på mindre mineraliseringar eller avvikande bergarter och inte alltid på huvudbergarten. Om man är osäker om borrkaxet ska

omhändertas eller inte kan det bekräftas med en analys. Det är inte hållbart att inerta naturmaterial deponeras i önödan.

**Tabell. Naturvårdsverkets riktvärden för klassning av förorenad mark (mg/kg torrsbstans). KM: Känslig markanvändning (ex. bostad, parkmark, skydd av grundvatten), MKM: Mindre känslig markanvändning (ex. industrimark, inget skydd av grundvatten)**

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

## Checklista Geologisk information

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

- Se SGUs kartvisare för brunnar (<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-brunnar.html>)

### Är det stora jorddjup där jag ska borra?

- Se SGUs 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 SGUs kartvisare (<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-lagerobservationer.html>)

### Vad är det för typ av berggrund i området?

- Se SGUs kartvisare för berggrundsinformation (<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html>)

### Kan berggrunden i området ha avvikande värmeledningsförmåga (<math>\leq 3 \text{ W/mK}</math>)?

- Se SGUs kartvisare för geoenergi "prognoskarta för värmeledningsförmåga" (<https://apps.sgu.se/kartvisare/> och modaldata för punkter med beräknade värmeledningstal (kartvisaren beräknas klar slutet av 2022))

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

- Kontrollera om borrhningen ligger inom alunskifferområden eller inom berggrund med förhöjda metallhalter. Se SGUs kartvisare för berggrund

<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html>) samt kartvisaren för bergarts kemi (<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-bergartskemi.html>)

- Vid osäkerhet om speciella miljöhänsyn måste tas kan en kemisk analys utföras.

**Ligger planerad borrning inom skyddsområden för grundvatten och finns det speciella krav, hänsyn, tillstånd eller restriktioner.**

- Kontrollera med kommunen och SGUs vägledning "Normbrunn 16"  
(<https://resource.sgu.se/produkter/broschyler/vagledning-normbrunn-16.pdf>)

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

- Kontrollera med kommunen SGUs vägledning "Normbrunn 16"  
(<https://resource.sgu.se/produkter/broschyler/vagledning-normbrunn-16.pdf>)

## Litteratur

Geoenergi: Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt. SGU, januari 2016, Rapport 2016:16, 56 s.

Normbrunn-16 Vägledning för att borra brunn. SGU, december 2016, 34 s.