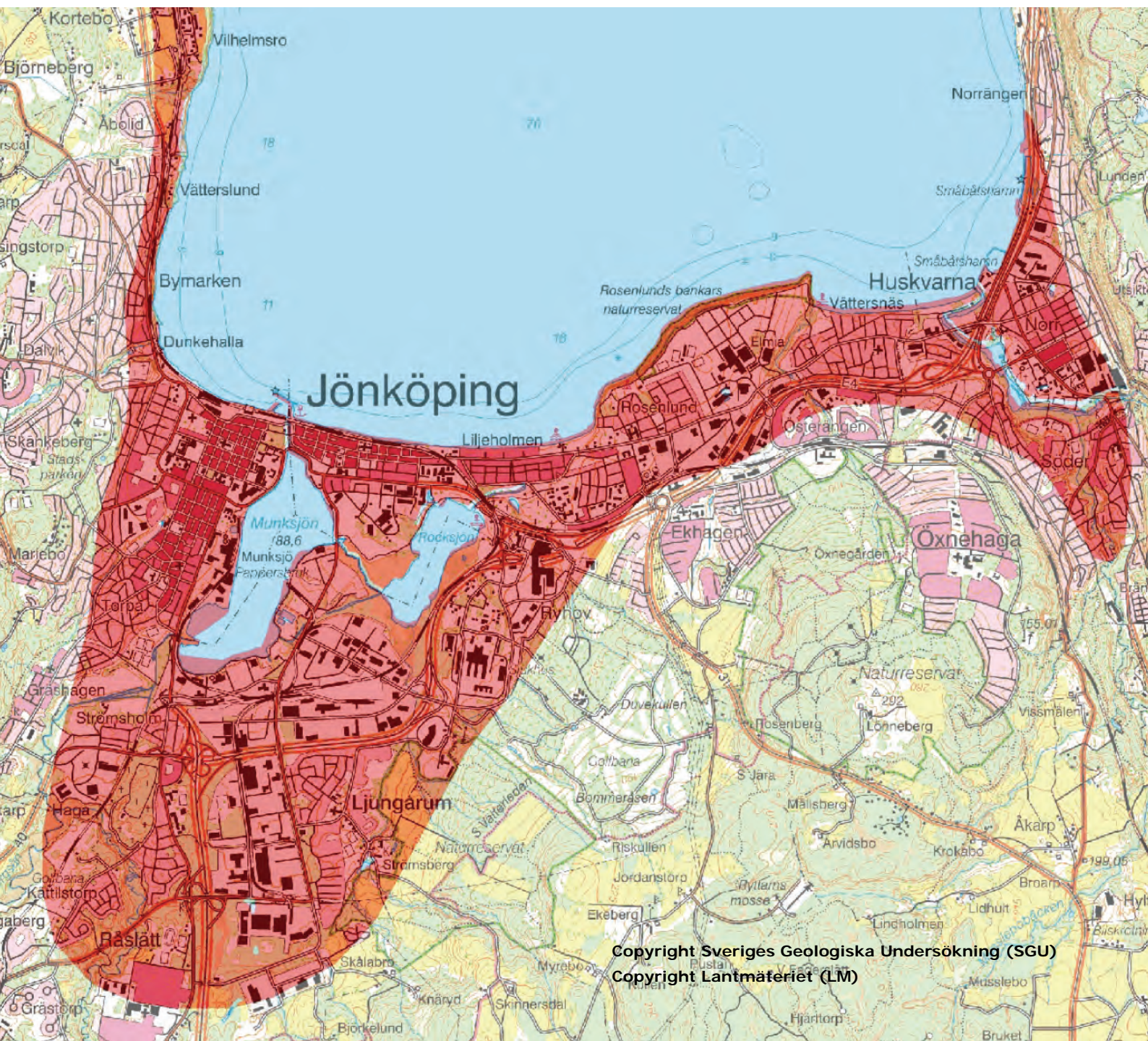




Geoenergi

Möjligheter och förutsättningar för geoenergi i
Jönköping och Huskvarna



■ Geoenergi

Möjligheter och förutsättningar för geoenergi i
Jönköping och Huskvarna

Meddelande	nr 2011:22
Referens	Eva Hallström, Utvecklingsavdelningen, maj 2011
Kontaktperson	Eva Hallström, Länsstyrelsen i Jönköpings län, Direkttelefon [036-39 50 86, e-post eva.hallstrom@lansstyrelsen.se
Webbplats	www.lansstyrelsen.se/jonkoping
Kartmaterial	© Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) © Lantmäteriet (LM)
ISSN	1101-9425
ISRN	LSTY-F-M—11/22--SE
Upplaga	50 exemplar.
Tryckt på	Länsstyrelsen, Jönköping 2011
Miljö och återvinning	Rapporten är tryckt på miljömärkt papper och omslaget består av PET-plast, kartong, bomullsväv och miljömärkt lim. Vid återvinning tas omslaget bort och sorteras som brännbart avfall, rapportsidorna sorteras som papper.

© Länsstyrelsen i Jönköpings län 2011

Förord

Sveriges Länsstyrelser samordnar det regionala arbetet för en långsiktigt trygg och hållbar energiförsörjning. Länsstyrelsen i Jönköpings län har tagit fram en klimat- och energistrategi med nya klimatmål som visar hur Jönköpings län ska klara Sveriges klimatmål och energiomställningen. Strategin innehåller visionen att Jönköpings län ska vara ett plusenergilän 2050. Visionen innebär att länet senast 2050 ska vara självförsörjande på förnybar energi. För att nå dit behövs en snabb omställning som innebär en kombination av energieffektivisering och ökad produktion av förnybar energi. Användning av förnyelsebara energikällor och effektivare energianvändning när det gäller bl.a. uppvärmning och kylning av byggnader anges i strategin som viktiga steg mot ett långsiktigt hållbart samhälle.

Uppvärmning och kylning av byggnader kan ske med geoenergi. Geoenergi är en förnyelsebar och lokalproducerad energi. På uppdrag av Länsstyrelsen i Jönköpings län och i linje med Länsstyrelsens klimat- och energistrategiarbete har en utredning av förutsättningar och möjligheter för geoenergi i centrala Jönköping och Huskvarna utförts av Niklas Ekstrand och Håkan Wennerberg på Sweco Environment i Jönköping. Rapportens innehåll har kvalitetsgranskats av Claes Regander och Olof Andersson på Sweco Environment i Malmö.

Jönköping i maj 2011

Eva Hallström
Energi- och klimatstrateg i Jönköpings län

Innehållsförteckning

Förord	5
Sammanfattning	8
Inledning	9
Bakgrund	9
Syfte	10
Omfattning och avgränsning.....	10
Geoenergi	11
Allmänt.....	11
Grundvattenvärme	12
Akviferlager	12
Bergvärme	14
Borrhålslager.....	14
Ytjordvärme	15
Utvinning och lagring av termisk energi i en akvifer.....	15
Material och metoder	19
Geologiska förhållanden	19
Hydrogeologiska förhållanden.....	19
Brunnsinventering.....	19
Bedömning av kostnads- och miljönytta	20
System.....	20
Bedömning av kostnadsnytta	21
Bedömning av miljönytta	22
Potentialbedömning	23
Resultat	25
Geologiska förhållanden	25
Berg	25
Jord	26
Hydrogeologiska förhållanden.....	27
Grundvattnets temperatur.....	29
Grundvattnets kemiska sammansättning	30
Brunnsinventering.....	30
Kostnads- och miljönytta	31
System.....	31
Kostnadsnytta	31
Miljönytta.....	32
Potential	33
Diskussion	34

Slutsatser	38
Referenser	39
Litteratur	39
Kart- och databasmaterial	40
Internetreferenser.....	40
Personliga referenser	41
Övriga referenser	41
Bilagor	44
1. Tabell brunnsinventering	44
2a. Översiktskarta, Visingsöformationens utbredning och inventerade brunnar i Jönköping....	45
2b. Översiktskarta, Visingsöformationens utbredning och inventerade brunnar i Huskvarna....	46
3. Jordartgeologisk karta	47

Sammanfattning

Geoenergi är en förnyelsebar (EU direktiv, 2009/28/EG) och lokalproducerad energi som kan förse t.ex. byggnader med både värme och kyla. Utvinning värme från en geoenergianläggning bygger på värmepumpsteknik vilket kräver ett tillskott av högvärdig elenergi. Utvinning av kyla sker däremot normalt som s.k. frikyla och kräver minimalt med tillförd högvärdig energi. Två viktiga exempel på geoenergianläggningar är akviferlager och borrhålslager. Akviferlager och borrhålslager möjliggör växelvis inlagring och utvinning av värme eller kyla till eller från en geologisk formation. System där både värme och kyla nyttiggörs kan vara mycket kostnads- och miljömässigt fördelaktiga.

Det som framförallt gör geoenergi intressant inom centrala Jönköping och Huskvarna är att urberggrunden i Vättersänkan lokalt överlagras av sedimentära bergarter bl.a. sandsten tillhörande Visingsöformationen. Formationen förekommer under kvartära jordlager i Jönköping och Huskvarna och dess vattenförande och termiska egenskaper lämpar sig väl för lagring och utvinning av termisk energi i ett akviferlager. Förutsättningar kan finnas för att även anlägga akviferlager i vattenförande jordlager inom centrala Jönköping och Huskvarna. Utanför Vättersänkan i områden med tunna jordlager på urberg eller där vattenförande geologiska formationer saknas är förutsättningarna för borrhålslager bättre.

Ett akviferlager som anläggs i Visingsöformationen ger lägre total energiförbrukning och en lägre driftskostnad vid jämförelse med fjärrvärme och konventionell kylteknik. Ett akviferlager som drivs med förnyelsebar elenergi är i stort sett koldioxidneutralt och ger lägst miljöpåverkan vid en jämförelse av koldioxidemissioner med fjärrvärme med konventionell kylteknik. Elenergens och fjärrvärmens ursprung bedöms vara avgörande för resultatet av emissionsberäkningarna.

En teoretiskt uppskattad maximal effektpotential för utvinning och lagring av termisk energi i Visingsöformationen inom Jönköping och Huskvarna uppgår till 12-60 MW. Uppskattningsvis kan en energimängd motsvarande 43-216 GWh värme och lika stor mängd kyla utvinnas direkt från grundvattnet på årsbasis. Denna uppskattning förutsätter ett konstant effektuttag samt system där uttag från värme/kyla från grundvattnet är balanserat över året. Energipotentialen för utvinning av värme från grundvattnet i Visingsöformationen, enbart inom Jönköping och Huskvarna, kan uppskattas till mellan ca 0,4 och 1,8 % av den totala energiförbrukningen inom Jönköpings län eller fjärrvärmeförbrukningen hos knappt 2 till 8 sjukhus motsvarande Länssjukhuset Ryhov.

Visingsöformationen inom Jönköping och Huskvarna är till största delen oexploaterad m.a.p. på utvinning och lagring av termisk energi trots de till synes goda geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna.

Inledning

Bakgrund

Sweco Environment i Jönköping har på uppdrag av Länsstyrelsen i Jönköpings län genomfört en utredning av möjligheter och förutsättningar för utvinning av geoenergi i centrala Jönköping och Huskvarna.

Sveriges Länsstyrelser har ett regeringsuppdrag att arbeta med energiomställning och energieffektivisering. Länsstyrelsen samordnar det regionala arbetet för en långsiktigt trygg och hållbar energiförsörjning. Bland annat har Länsstyrelsen i Jönköpings län tagit fram en klimat- och energistrategi (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2010) som visar hur Jönköpings län ska klara Sveriges klimatmål och energiomställningen.

En ökad användning av förnyelsebara energikällor anges i klimat- och energistrategin som ett viktigt steg mot ett långsiktigt hållbart samhälle. För att klara energiomställningen krävs också att energin används effektivare än i dag, bland annat när det gäller uppvärmning och kylning av byggnader. Det behövs både ny teknik och ändrade beteenden. Länsstyrelsen driver därför olika projekt för att främja en hållbar utveckling och för att ta fram planeringsunderlag (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2010).

Det som framförallt gör geoenergi intressant inom Jönköping och Huskvarna är att urberggrunden i Vättersänkan lokalt överlagras av yngre sedimentära bergarter. De yngre sedimentära bergarterna benämns Visingsöformationen. Formationen förekommer under kvarära jordlager i Jönköping och Huskvarna.

Visingsöformationen's vattenförande egenskaper har tidigare utnyttjats för produktion av dricksvatten och livsmedel, t.ex. kommunala vattentäcker, bryggerier, slakterier och mejerier. Idag nyttjas grundvattnet på ett fåtal platser för uppvärmning eller kylning av byggnader, teknisk utrustning och industriprocesser. Sandstenens vattenförande och termiska egenskaper lämpar sig väl för lagring och utvinning av energi.

Visingsöformationen har tidigare varit föremål för olika energiutredningar, framförallt i början på 1980-talet. Dessa utredningar var ofta inriktade på mindre geografiska områden eller på specifika tillämpningar.

Syfte

Syftet med utredningen är huvudsakligen att bedöma och beskriva möjligheter och förutsättningar för utvinning och lagring av energi i Visingsöformationen inom centrala Jönköping och Huskvarna. I rapporten redogörs även översiktligt för andra typer av vanliga geoenergisystem samt deras för- och nackdelar inom Jönköping och Huskvarna.

Rapporten är tänkt att utgöra underlag för energiplanering för privata företag och offentliga verksamheter och kommer att användas i Länsstyrelsens fortsatta energi- och klimatstrategiarbete.

Omfattning och avgränsning

Geografiskt omfattar utredningen de centrala delarna av Jönköping och Huskvarna där Visingsöformationen förekommer.

Utredningen har omfattat:

- geologisk beskrivning av Jönköping och Huskvarna.
- hydrogeologisk beskrivning av Jönköping och Huskvarna.
- beskrivning av olika geoenergisystem med fokus på akvifer- och borrhålslager och fördelar och nackdelar med dessa metoder för utvinning av geoenergi i Jönköping och Huskvarna.
- beräkning och bedömning av tillgänglig geoenergi i Jönköping och Huskvarna.
- bedömning av kostnadsnyttan av att använda akviferlager i förhållande till konventionellt värmesystem bestående av fjärrvärme och konventionell kyla.
- bedömning av miljönytta i form jämförelse av koldioxidemissioner från akviferlager och konventionellt värmesystem, bestående av fjärrvärme och konventionell kyla.

Vid bedömningen av kostnads- och miljönytta har enbart akviferlager beaktats vid jämförelse med konventionellt system.

Utredningen har baserats på befintlig information från undersökningar, utredningar, litteratur, kartmaterial och databaser samt den samlade erfarenheten och kunskapen om geoenergi som finns inom Sweco Environment.

Under avsnitt sju redogörs för de källor som nyttjats i denna studie. Flera av källorna refereras inte till texten men bör ändå ses om ett underlag till rapporten. Dessa källor anges under avsnitt 7.5. Referenslistan gör inga anspråk på att vara fullständig men kan ses som en sammanställning av befintlig information om geologin och hydrogeologin i Jönköping och Huskvarna.

Geoenergi

Allmänt

Geoenergi är ett samlingsnamn för utvinning och/eller lagring av energi i jord, berg och vatten. Vanliga typer av geoenergi som många människor har kommit i kontakt med är bergvärme och ytjordvärme. Andra exempel på geoenergi är grundvattenvärme och sjövat-
tenvärme.

Geoenergi utgörs i huvudsak av solenergi, som passivt lagras i jord, berg och vatten. Den inlagrade termiska energin i jorden, berget eller vattnet utgör energikällan för geoenergi. Solenergin når genom direktinstrålning, nederbörd och vind, ner till ett djup av ca 10 m. På detta djup ligger temperaturen på ungefär samma nivå som årets medeltemperatur i luften. På större djup ökar temperaturen gradvis med ökat djup tack vare värmen som alstras i jordens inre och som strömmar upp mot markytan, så kallad geotermisk värme. I de vanligaste geoenergisystemen utgör dock det geotermiska värmebidraget en mindre del av det totala värmeinflödet.

Geoenergianläggningar kan tillgodose både värme- och kylbehov. Energiutvinningen sker genom värmeväxling med en termisk energikälla i jord, berg eller vatten. Energitvinningskällan är att betrakta som lågvärdig och gemensamt för de olika geoenergisystemen är att det normalt krävs värmepumpsteknik för att lyfta temperaturen till den önskade. För utvinning av kyla krävs normalt ingen värmepumpsteknik då temperaturen hos energikällan redan är tillräckligt låg, s.k. frikyla.

Energiutvinning innebär att temperaturen hos energikällan i jord, berg eller vatten ökar eller minskar jämfört med den naturliga omgivande temperaturen. På grund av att den termiska energin i jorden, berget eller vattnet hela tiden strävar efter att uppnå jämvikt med sin omgivning så återladdas energi naturligt.

Energilagring innebär att både kyla och värme utvinns och lagras växelvis under perioder med olika värme- och kylbehov. På detta sätt förstärks den naturliga återladdningen. Energilagring kan ske både som säsongslagring över t.ex. sommar och vinter eller som korttidslagring över t.ex. ett dygn. Exempelvis så utvinns värme under en period då värmebehov föreligger. Detta medför att energikällan laddas genom nedkyllning. Under kommande period finns istället ett kylbehov och då kan den nedkylda energikällan nyttjas för utvinning av kyla. Samtidigt återladdas energikällan genom uppvärmning.

Grundvattenvärme

Grundvattenvärme är en relativt vanlig typ av geoenergi. Energikällan utgörs av lagrad termisk energi i en vattenförande geologisk formation (akvifer). Grundvattenvärme kan användas för både uppvärmning eller kylning byggnader. Det finns också många exempel där grundvatten nyttjas i för processkyla.

Grundvatten pumpas upp från en brunn installerad i en vattenförande akvifer. Vattnet är i detta fall köldbärarvätskan som används för värmeväxling med den geologiska formationen. Värmeväxlingen med den geologiska formationen är effektiv då grundvattnet rör sig i jordens eller bergets por- och spricksystem. Om endast värme eller kyla utvinns är det vanligt att vattnet återförs i en brunn på ett visst avstånd från uttagsbrunnen eller att vattnet avleds till ett dagvattensystem eller recipient.

Akviferlager

Akviferlager (ATES = Aquifer Thermal Energy System) är en beprövad teknik som är lämplig för större anläggningar och byggnader med både värme- och kylbehov. Akviferlager passar för både säsongslager och korttidslager. I vissa system utvinns och lagras endast värme eller endast kyla. Ofta handlar det då om inlagring av spillvärme eller kyla från t.ex. sjövattnet i ett korttidslager.

I ett akviferlager utvinns termisk energi från grundvatten samtidigt som termisk energi lagras i en akvifer (grundvattenmagasin). Den termiska energin inlagras både i akviferens fasta del (jord eller berg) och i grundvattnet. Grundvattnet utgör energibäraren (köldbärarvätskan) och överför termisk energi till och från akviferen. I ett akviferlager sker inget nettouttag av grundvatten då storleken på uttag och återföring är lika.

Ett akviferlager utgörs i sin enklaste form av en varm och en kall brunngrupp. Brunngrupperna utgör olika delar eller sidor av en akvifer, se figur 2. Under perioder med värmebehov pumpas grundvatten från brunnar på den varma sidan och värme utvinns i ett värmeväxlar- och värmepumpssystem. Det nedkylda grundvattnet återförs efter värmeväxling till brunnar på den kalla sidan och bildar där ett kallt magasin. Under perioder med kylbehov vänds flödesriktningen i systemet och grundvatten pumpas från brunnar på den kalla sidan och kyla utvinns. Normalt utvinns kyla som frikyla, d.v.s. ingen värmepumpsteknik används för att uppnå önskad temperatur. Det uppvärmda vattnet återförs sedan till brunnar på lagrets varma sida och bildar där ett varmt magasin. Skillnaden mellan temperaturen hos varm respektive kall sida jämfört med normal temperatur i akviferen uppgår typiskt till mellan 4-6 grader.



Källa: Geotec (Svenska Borrentrenerörens Branschorganisation)

Figur 2.2. Illustration av akviferlager.

Att varm och kall sida hålls separerade och att både värme och kyla nyttiggörs innebär att dessa system är både effektiva och lönsamma.

Dimensionering av ett akviferlager görs utifrån temperatur, effekt- och energibehov hos byggnaden eller anläggningen. Dessa behov ligger till grund för hur mycket grundvatten som måste omsättas och vilka temperaturer som krävs på varm och kall sida. De geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna sätter gränserna för vad som är möjligt. Viktiga förutsättningar är uttagbara grundvattenmängder, akviferens typ, mäktighet och utbredning samt bergets eller jordens termiska egenskaper.

Ett akviferlager förutsätter alltså en akvifer med vissa egenskaper. I Sverige är sådana förutsättningar begränsade till i huvudsak isälvsformationer t.ex. rullstensåsar och randdeltan samt vattenförande sedimentbergarter, t.ex. sandstens- och kalkstensformationer.

I Jönköping-Huskvarna lämpar sig tekniken sannolikt väl i områden där Visingsöformationen är lokaliserad, eller där man träffar på andra vattenförande formationer i jordlagren. Dock kan de lokala variationerna vara stora, varför förutsättningarna måste undersökas från fall till fall.

Bergvärme

Bergvärme kan anses som det vanligaste systemet för utvinning av geoenergi. Energikällan utgörs av lagrad termisk energi i berg och i vissa fall även i den vattenmättade zonen i jord. Systemet används företrädesvis till villor och andra mindre byggnader.

Oftast borrar en slangförsedd energibrunn ned till 100-200 meters djup. En köldbärarvätska (köldmedium) cirkuleras i slangen och hämtar eller avger termisk energi från eller till berget genom värmeväxling. Systemet är slutet och kräver minimalt med underhåll. En bergvärmeanläggning kan även användas för utvinning av kyla under t.ex. sommaren vilket i så fall förstärker den naturliga återladdningen av värme till berget.

Borrhåslager

Borrhåslager (BTES = Borehole Thermal Energy System) liknar principen för bergvärme fast i större skala. Systemet är vanligast för större byggnader och industrier med både kyl- och värmebehov. Energikällan utgörs precis som för bergvärme av inlagrad termisk energi i berg och i vissa fall även i den vattenmättade zonen i jord. Istället för en energibrunn borrar flera energibrunnar tätt. Det finns idag system med över 100 energibrunnar.

Utvinning och lagring av energi sker i ett större antal brunnar som tillsammans värmer eller kylar en större bergvolym, se figur 1. Varje energibrunn är försedd med slangar i vilka en köldbärarvätska cirkulerar och hämtar eller avger energi från eller till berget. Borrhåslager kan utformas både som säsongslager och som korttidslager.



Källa: Geotec (Svenska Borrentrenerörens Branschorganisation)

Figur 2.1. Illustration av borrhåslager.

Under perioder med värmebehov tas värme från den omgivande berggrunden varpå bergvolymen kyls ned. Under sommaren används den kyla som lagrats i bergvolymen för kylning. Vid uttag av kyla återvärmes bergvolymen.

Dimensionering av ett borrhålslager m.a.p. antal energibrunnar, dess djup och inbördes avstånd görs utifrån temperatur, effekt- och energibehov samt bergets och jordens geologi och dess termiska egenskaper. Borrhålslager har lång livslängd och kräver lite underhåll.

Borrhålslager kan anläggas på de flesta platser i Sverige då energibrunnarna kan anläggas i urberg, t.ex. gnejs och granit. Kostnaden för att anlägga ett borrhålslager ökar om jorddjupen är mäktiga. Detta p.g.a. att det krävs foderrörsborrning ned till berggrunden.

I Jönköping-Huskvarna skulle borrhålslager med fördel kunna anläggas på de områden där ett tunna jordlager överlagrar urberg och där möjligheterna till uttag av grundvatten är små eller obefintliga.

Ytjordvärme

Ytjordvärme kan användas istället för bergvärme i det fall en tillräckligt stor yta är tillgänglig. Energikällan utgörs av lagrad termisk energi i ytliga jordlager. Systemet bygger oftast på frysning av en del av markens vatteninnehåll. Då vatten byter fas från flytande till fast form frigörs energi (isbildningsvärme). Precis som för bergvärme är detta system vanligast för villor och andra mindre byggnader.

Slangar med en cirkulerande köldbärarvätskan anläggs på någon meters djup över en tillräckligt stor yta. Ytjordvärme kan inte användas för utvinning av kyla eftersom temperaturen i marken då blir för hög.

Utvinning och lagring av termisk energi i en akvifer

I detta avsnitt ges en kort teoretisk introduktion till hur termisk energi utvinns från grundvatten och hur energi lagras i en akvifer.

Effekten vid utvinning av värme eller kyla från grundvatten kan beräknas enligt (1) (Agerstrand m.fl., 1980).

$$P_{\text{grundvatten}} = Q \cdot c_v \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$P_{\text{grundvatten}} = \text{Effekt [W]}.$$

$$Q = \text{Vattenuttag [m}^3/\text{s]}.$$

c_v = Vattnets värmekapacitet [J/(m³·°C)].

ΔT = Temperaturförändring [°C]. Temperaturskillnaden i värmeväxlaren.

Om effekten multipliceras med tiden under vilken effektuttaget pågått ges mängden energi (2).

$$E = P \cdot t \quad (2)$$

E = Energimängd [J].

t = Tid [s].

Möjliga vattenuttag beror både på egenskaper hos akviferen och på brunnsegenskaper. I ett inledande skede kan uppgifter om specifik kapacitet från brunnar installerade i samma akvifer analyseras och användas för att uppskatta hur stora vattenuttag som är möjliga.

I praktiken genomförs fältundersökningar, provborrning och långtidsprovpumpning, för att med större säkerhet uppskatta uttagbara vattenmängder. Normalt genomförs också numeriska simuleringar för att studera och bedöma samverkan mellan flera brunnar, deras inbördes placering samt hur uttag och återföring av vatten i dessa påverkar trycknivåerna i akviferen.

I ett akviferlager, där kyla och värme växelvis utvinns och inlagras, förstärks temperaturskillnaderna mellan varm och kall sida, se avsnitt 2.5. Vid inlagring och uttag av värme eller kyla sker en energiöverföring mellan vattnet och akviferens fasta material. Det fasta materialets temperatur förändras successivt till dess att temperaturjämvikt råder mellan vattnet och det fasta materialet. Denna process styrs av vattnets och det fasta materialets termiska egenskaper, det fasta materialets porositet, flödes hastighet i akviferen samt de rådande temperaturerna i vatten och fast material. En diffus temperaturfront utbildas och rör sig över tiden med en hastighet som bestäms av främst flödes hastigheten (Gustafson m.fl., 1984).

Det område som värms upp eller kyls ned kring en brunn vid inlagring eller uttag kan förenklat och överslagsmässigt representeras med en s.k. termisk radie inom vilken temperaturen är konstant (4). Den termiska radien representerar ett radiellt avstånd från brunnen och beräknas utifrån ett antagande om energibalans mellan tillförd och inlagrad energi (3) (Gustafson m.fl., 1984).

$$Q_{in} \cdot t_{in} \cdot c_v = b \cdot \pi \cdot R_T^2 \cdot c \quad (3)$$

$$\Rightarrow R_T = \sqrt{\frac{c_v}{c} \cdot \frac{Q_{in} \cdot t_{in}}{b \cdot \pi}} \quad (4)$$

R_T = Termisk radie [m].

Q_{in} = Vattenflöde vid inlagring [m³/s].

t_{in} = Inlagringstid [s].

c_v = Vattnets värmekapacitet [J/(m³·°C)].

c = Akviferens värmekapacitet [J/(m³·°C)].

b = Akviferens mäktighet [m].

Akviferens värmekapacitet beror av både vattnets och det fasta materialets värmekapacitet. Fördelningen mellan dessa styrs av porositeten. För ett vattenmättat poröst medium kan värmekapaciteten beräknas enligt ekvation 5 (Gustafson m.fl., 1984).

$$c = c_v \cdot n + c_s \cdot (1 - n) \quad (5)$$

c_s = Fasta materialets värmekapacitet [J/(m³·°C)].

n = Akviferens porositet [-].

I praktiken krävs noggrannare beräkningar där hänsyn tas till bl.a. flödes hastigheten i akviferen, den diffusa temperaturfronten, samtidig inlagring och uttag i flera olika brunnar samt effekter av inlagring och uttag under flera säsonger. Sådana termiska simuleringar utförs normalt med numeriska metoder.

Effekten från uppumpat grundvatten beskrivs av ekvation (1). För att tillgodogöra sig grundvatteneffekten för värmning eller kylning krävs ett system med värmeväxlare och värmepump. Vid värmeväxling förloras ca 1-2 °C beroende på hur effektiv värmeväxlaren är. För att höja temperaturen i värmekretsen till önskad temperatur krävs en värmepump. I värmepumpen sker ett tillskott av högvärdig elenergi för att lyfta temperaturen till den önskade (6) (Agerstrand m.fl., 1980).

$$P_{nyttig} = P_{grundvatten} + P_{tillförd} \quad (6)$$

P_{nyttig} = Nyttig effekt [W]. Avser den effekt som levereras till värmesystemet.

$P_{grundvatten}$ = Effekt från grundvattenkretsen [W]. Beräknas enligt ekvation 1.

$P_{tillförd}$ = Tillförd effekt [W]. Effekt som tillförs värmepumpen för att höja temperaturen i värmekretsen.

Förhållandet mellan nyttig effekt och tillförd effekt kallas för värmefaktor (7) (Agerstrand m.fl., 1980).

$$\Phi = \frac{P_{nyttig}}{P_{tillförd}} \quad (7)$$

Φ = Värmefaktor [-]. Värmefaktor benämns även COP (Coefficient of Performance).

Värmefaktorn är ett mått på hur effektivt den tillförda högvärdiga energin utnyttjas momentant. En värmefaktor på t.ex. fyra innebär att värmepumpen producerar fyra gånger mer energi än vad som tillförs.

Värmefaktorn kan också anges som ett säsongsmedelvärde och benämns då ofta SPF (Seasonal Performance Factor). Samma resonemang som för värmefaktorn avseende tillförd och avgående energi gäller även för SPF.

Vid kylning är det normalt sett mest lönsamt att kylningen sker i form av s.k. frikyla. Frikyla innebär grundvattnets temperatur nyttjas direkt i kylsystemet efter värmewäxling.

Material och metoder

Geologiska förhållanden

De geologiska förhållandena inom Jönköping- och Huskvarnaområdet beskrivs översiktligt. Beskrivningen omfattar tolkning och sammanställning av olika geologiska enheters utbredning, mäktighet och egenskaper. Viktiga termiska egenskaper för tillämpningar inom geoenergi är t.ex. jord- och bergmaterialets värmeledningsförmåga och värmekapacitet som beskriver med vilken hastighet termisk energi transporteras respektive hur mycket termisk energi som kan inlagras eller avges då temperaturen förändras en grad. Information till den geologiska beskrivningen har inhämtats från litteratur, kart- och arkivmaterial samt utförd brunnsinventering.

Hydrogeologiska förhållanden

De hydrogeologiska förhållandena i Jönköping och Huskvarna beskrivs översiktligt med avseende på grundvattnets förekomst och uppträdande i jord och berg, de huvudsakliga geologiska enheternas hydrauliska egenskaper, uttagbara vattenmängder samt grundvattnets temperatur och kemi. Information till den hydrogeologiska beskrivningen har inhämtats från litteratur, kart-, databas- samt arkivmaterial.

Brunnsinventering

Brunnsuppgifter har inhämtats från SGU:s brunnsarkiv och från Miljökontoret, Jönköpings kommun, samt från äldre rapporter och utredningsmaterial. De brunnar som ingått i inventeringen har antagits vara installerade i Visingsöformationen. Urvalet av brunnar har gjorts främst med ledning av uppgift om jord- och berglagerföljd. I de fall där uppgift om lagerföljd saknats har brunnens geografiska läge och vattenförande kapacitet i förhållande till övriga omgivande brunnar beaktats.

En brunns kapacitet anges ofta i brunnsprotokoll som ett volymsflöde (volym per tidsenhet). Kapaciteten beror av flera olika faktorer förutom den geologiska formationens vattenförande egenskaper, t.ex. testmetod, avsänkning i pumpbrunnen, pumpstorlek och brunns-egenskaper m.m., och ger därför ingen entydig information om den geologiska enhetens vattenförande egenskaper.

Specifik kapacitet är en brunnsenhet och anges som kvoten mellan uppmätt pumpflöde och avsänkning i brunnen (8) (Domenico och Schwartz, 1997). Specifik kapacitet ger också ett indirekt mått på den geologiska enhetens vattenförande egenskaper. Enheten är liter per sekund och meter avsänkning.

$$Q_s = \frac{Q}{\Delta s} \quad (8)$$

Q_s = Specifik kapacitet [l/s·m].

Q = Uppmätt pumpflöde [l/s].

Δs = Uppmätt avsänkning i brunnen [m].

I de fall där uppgifter om vattenuttag och uppmätt avsänkning vid provpumpningar och kapacitetstester har gått att få fram har den specifika kapaciteten beräknats. De beräknade värdena har bearbetats statistiskt och anpassats till en log-normalfördelning.

Bedömning av kostnads- och miljönytta

System

Bedömning av kostnads- och miljönytta av att använda geoenergi i förhållande till annat konventionellt värmesystem har genomförts. I bedömningen har två fiktiva grundvattenbaserade akvifersystem jämförts med referensalternativ bestående av fjärrvärme och konventionella eldrivna kylmaskiner. I det ena fallet (jämförelsesystem 1) föreligger ett behov av både värme och kyla, medan det i det andra fallet (jämförelsesystem 2) enbart finns ett värmebehov.

Båda akviferlagren har antagits leverera en effekt om 300 kW före värmepump. Med en antagen SPF hos värmepumpen om 4 skulle de båda systemen kunna leverera 400 kW efter värmepump. Kylan som produceras från akviferlagren antas att utgöras till 100 % av frikyla från lagrets kalla brunnar. SPF för kylproduktionen bedöms vara ca 40.

För enkelhetens skull har antagits ett vinterdriftfall och ett sommardriftfall som båda är 5 månader (150 dygn). För jämförelsesystem 1 innebär det att det råder en jämvikt mellan de uttagna energimängderna från akviferlagret sommar- respektive vintertid. För jämförelsesystem 2 skulle akviferlagret behöva återladdas med värme sommartid. Detta har inte tagits hänsyn till i beräkningarna. Om vidare den angivna effekten är den maximala från akviferlagret kan räkneexemplet fungera som en bedömning av den maximala potentialen. Utgående från Boverkets byggregler (där den specifika energianvändningen är angiven till 100 kWh/m² och år) skulle systemen potentiellt kunna försörja en större kontorsbyggnad på 14 000 m².

Samtliga dimensionerande förutsättningar för beräkningar framgår av tabell 3.1.

Normalt dimensioneras ett akviferlager till att, tillsammans med värmepumpsdrift, täcka ca 65 % av ett värmeeffektbehov. Resterande värmebehov kan täckas med fjärrvärme, elpanna eller annan värmekälla. Under förutsättning att spetsen täcks med fjärrvärme kan denna del

uteslutas i beräkningarna eftersom kostnader och miljöpåverkan från spetsen är densamma vid jämförelsen.

Generellt gäller att effekt- och energibehov i varje projekt bör utredas och om möjligt minimeras. Av betydelse är även att temperaturkrav på både kyl- och värmesida utreds och om möjligt åtgärdas för optimering av drift tillsammans med ett system som utvinnet geenergi.

Tabell 3.1. Dimensionerande förutsättningar för akviferlager och referensalternativ med fjärrvärme och konventionella kylmaskiner.

Parameter	Enhet	Jämförelsesystem 1	Jämförelsesystem 2
Effekt från akviferlager	[kW]	300	300
Temperaturförändring	[°C]	5	5
Grundvattenbehov ¹	[l/s]	15	15
SPF, värmepump	[-]	4	4
Levererad värmeeffekt, från värmepump	[kW]	400	400
Levererad värmeenergi ²	[MWh]	1 400	1 400
SPF, frikyla från grundvatten	[-]	40	-
Levererad kyleffekt	[kW]	300	-
Levererad kylenergi ³	[MWh]	1 000	-
SPF, fjärrvärme	[-]	1	1
SPF, kylmaskin	[-]	2,5	-

¹ Ekvation (1), $c_v = 4,18$ [MJ/(m³·°C)]

² Antaget vinterdriftfall = 150 dygn (3 600 timmar)

³ Antaget sommar driftfall = 150 dygn (3 600 timmar)

Bedömning av kostnadsnytta

En bedömning av kostnadsnytta av att använda geenergi i förhållande till konventionellt värmesystem har genomförts. Dimensionerande förutsättningar för energisystemen framgår av tabell 3.1.

Bedömningen har begränsats till att omfatta driftskostnader, då storleken på investeringarna för anläggande av ett akviferlager varierar från fall till fall och därför är svåra att uppskatta. Utöver merinvesteringen tillkommer också utredningskostnader för geologiska- och hydrogeologiska förutsättningar, ev. tillstånd och VVS-tekniska lösningar m.m. vilket inte beaktas i denna rapporten.

Vid den ekonomiska bedömningen har energikostnader för el och fjärrvärme hämtats från Energimyndigheten (2010) och SCB (2010, 2011), se tabell 4.2. I Energimyndigheten (2010) återfinns statistiskt underlag till rapporten "Energiläget", som årligen ges ut av Energimyndigheten. Underlaget utgörs huvudsakligen av energistatistik framtagen av SCB på uppdrag av Energimyndigheten. Kostnaden för fjärrvärme baseras på uppgifter för 2009. Kostnaden för el är angivet för 2009 och inkluderar elcertifikatspris och kostnad för elnät men exklusive moms. För elpriset har antagits en näringsverksamhet med treårigt avtal.

Tabell 3.2. Beräkningsförutsättningar avseende energipris, exkl moms.

Energislag	Pris (kr/MWh)
Fjärrvärme	299 ¹
El	1 028 ²

¹ Källa: Energimyndigheten (2010). Pris angivet för 2009 exkl moms (25%).

² Källa: SCB (2010, 2011). Pris är angivet för 2009, exkl moms, och antagen typkund är näringsverksamhet med 3-årsavtal.

Bedömning av miljönytta

Det finns normalt miljömässiga fördelar med geoenergi då energikällan är både förnyelsebar och lokalproducerad. Dock krävs en viss mängd högvärdig energi i form av elenergi för drift av vatten- och värmepumpar etc.

En bedömning av miljönytta i form av minskade koldioxidemissioner i förhållande till annat konventionellt värmesystem har därför genomförts. Dimensionerande förutsättningar för energisystemen framgår av tabell 3.1.

En förändrad energianvändning innebär att viss produktion försvinner eller tillkommer (s.k. driftsmarginal). Driftsmarginalen ger en bedömning av vilken teknik som försvinner eller tillkommer när energianvändningen förändras och denna teknik kan förändras under den tid som anläggningen nyttjas. För att ta hänsyn till detta har vid emissionsberäkningar nyttjats uppgifter om elenergi och fjärrvärme som produceras på marginalen (se Energimyndigheten, 2008), se tabell 3.3.

För elenergi innebär detta att bedömning utförs dels för förnybar elproduktion samt elenergi producerad i kolkondensanläggning.

Vilken teknik som producerar fjärrvärme på marginalen varierar över året och är unikt för varje fjärrvärmesystem. Lokala variationer förekommer, vilket kan påverka emissionsberäkningar. I utförda beräkningar i denna rapport nyttjas därför den förenkling som anges i Energimyndigheten (2008), där två typiska fjärrvärmesystem definieras. Det ena systemet baseras främst på biobränslen, spillvärme och avfall medan det andra är mer fossilbaserat.

För att förenkla beräkningarna har ett intervall studerats. Den lägre siffran i intervallet i tabell 3.3 representerar det biobränsledominerade systemet med konventionell olja som marginalolja och naturgaskombi som marginalet samt att biobränsleanvändningen är koldioxidneutral. Den höga siffran representerar det fossilbaserade systemet där biobränsleanvändningen är koldioxidneutral men där både marginalet och marginalolja har höga emissionsfaktorer.

Emissionsfaktorerna för fjärrvärme baseras på flerbostadshus.

Tabell 3.3. Beräkningsförutsättningar avseende emissioner av koldioxid.

Energislag	CO ₂ -utsläpp (kg/MWh)
Fjärrvärme	45 - 270 ¹
El	5 - 1000 ²

¹ Källa: Energimyndigheten (2008). Angivet för flerbostadshus och bibränslebaserade fjärrvärmesystem med 10 % resp. 25 % inslag av fossila bränslen och el. För den lägre siffran nyttjas konventionell olja för marginalolja och naturgaskombi för marginalet medan bibränsleanvändningen är koldioxidneutral. För den högre siffran är bibränsleanvändningen fortsatt neutral, men både marginalet och marginalolja har höga emissionsfaktorer.

² Källa: Energimyndigheten (2008). Angivet för förnyelsebar el respektive kolkondens (marginal)

Potentialbedömning

Den totala potentialen för utvinning av värme- och kylenergi från grundvatten i Visingsöformationen har överslagsmässigt uppskattats med två olika teoretiska metoder. Som komplement till dessa metoder förs även en diskussion och rimlighetsbedömning.

Metoderna bygger på att den termiska energin utvinns i ett balanserat akviferlagersystem där lika mycket energi utvinns och inlagras. De beräknade värdena avser effekten och energin som utvinns direkt från grundvattnet. Effekten och indirekt energimängden motsvarar därför $P_{grundvatten}$ i ekvation 1. I ett akviferlagersystem tillkommer även den till värmepumpen tillförda högvärdiga energin vid värmeutvinning. Hur stort detta tillskott är bestäms av värmepumpens värmefaktor och sambanden beskrivs av ekvation 7 och 8 (Agerstrand m.fl., 1980).

Den första metoden (metod 1) innebär att viss volym av Visingsöformationen temperaturförändras genom uttag eller inlagring av termisk energi under en viss tid. Visingsöformationens volym uppskattas utifrån en bedömning av formationens utbredning och mäktighet. I ett akviferlager sker energiutvinning samtidigt som energiinlagring vilket medför att utvinning endast sker från halva formationens volym samtidigt. Metoden ger endast ett teoretiskt högsta mått på möjligt effekt- och energiuttag vid utvinning eller inlagring av termisk energi samt vilken vattenomsättning (uttag eller injektering) som detta förutsätter.

Ekvation 4 ovan beskriver sambandet mellan uttag eller inlagring av termisk energi i en akvifer och hur stor volym av akviferen som temperaturförändras. Baserat på ekvation 4 och beräkning av ekvivalent termisk radie enligt ekvation 9 kan ekvation 10 härledas. Ekvation 10 ger ett mått på det nödvändiga vattenuttag som krävs vid utvinning eller inlagring av termisk energi från eller till halva formationens volym.

$$R_T = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (9)$$

$$(4), (9) \Rightarrow Q = \frac{c}{c_v} \cdot \frac{V}{2t_{in}} \quad (10)$$

A = Visingsöformationens area [m²]

V = Visingsöformationens volym [m³]

I praktiken är det omöjligt att förändra temperaturen och inlagra termisk energi jämnt i en hel akvifer. Detta beror främst på akviferen är heterogen m.a.p. hydrauliska och termiska egenskaper och att det skulle kräva ett mycket stort antal brunnar jämnt fördelade över formationen.

Den andra metoden (metod 2) innebär att ett antal brunnar placeras på ett realistiskt inbördes avstånd på den yta där Visingsöformationen förekommer inom Jönköping och Huskvarna. Energiutvinningen sker från hälften av brunnarna då det krävs lika många varma som kalla brunnar i ett akviferlager. Vattenuttaget i brunnarna ansätts baserat på resultatet av den statistiska bearbetningen av värden på specifik kapacitet från inventerade brunnar. Effekten och energimängden från grundvattnet kan sedan uppskattas utifrån summan pumpflödet från hälften av det totala antalet brunnar, enligt ekvation 1 (Agerstrand m.fl., 1980).

Resultat

Geologiska förhållanden

Berg

Berggrunden i området kring Vättern består i huvudsak av urberg. I Jönköpings- och Huskvarnatrakten domineras urbergarterna huvudsakligen av knappt 2 miljarder år gamla graniter tillhörande den s.k. Protoginzonen. Protoginzonen är ett en ca 25 km bred deformationszon i syd till nordlig riktning. Zonen utgör gränsen mellan två olika urbergsområden, Svekonorvegiska provinsen i väster och det transskandinaviska magmatiska bältet i öster. Svekonorvegiska provinsen domineras av omvandlade urbergarter, gnejs. Urbergarterna inom det transskandinaviska magmatiska bältet är välbevarade och består huvudsakligen av vulkaniska bergarter som t.ex. olika graniter (Wik m.fl., 2006 och SGU, 2007).

Lokalt överlagras urberget av yngre sedimentära bergarter (ca 0,8 miljarder år). De sedimentära bergarterna som återfinns i Vättersänkan och på vissa platser längs sjöns stränder benämns Visingsöformationen (Svantesson, 1985). Förkastningsrörelser i urberget har skapat vättersänkan i vilken de sedimentära bergarterna återfinns (Wik m.fl., 1985). Sänkans östra begränsning indikeras av sjöns branta östsida som bildats genom en serie förkastningar. Sänkans västra gräns utgörs sannolikt av en flexurzon bestående av flera mindre förkastningar (VIAK, 1980). Mellan Jönköping och Huskvarna höjer sig Bondberget. Bondberget utgörs av urberg och separerar Vättersänkans fortsättning och Visingsöformationen utbredning i Jönköping och Huskvarna.

Visingsöformationen utbredning inom Jönköping och Huskvarna uppgår enligt SGU:s berggrundskarta (SGU, 2007) till ca 23 km². I bilaga 1a och 1b redovisas formationens utbredning enligt SGU:s senaste tolkning. Formationens exakta utbredning är inte känd och det förekommer olika bedömningar av utbredningen vilka anges på olika kartor med olika dateringar, t.ex. Nathorst (1880), Kommittén för Vätterns vattenvård (1970), Vidal (1974), Svantesson (1985). I Jönköping och Huskvarna återfinns Visingsöformationen under ställvis mäktiga kvartära avlagringar vilket framgår av de borrhningar som utförts i centrala Jönköping och Huskvarna.

Den del av Visingsöformationen som förekommer söder om Vättern tillhör den understa av tre huvudsakliga enheter (Geijer m.fl., 1951 och Wik m.fl., 2006). Den understa enheten består av främst gulaktig sandsten. På andra platser längs Vätterns stränder och på Visingsö förekommer även den mellersta och översta enheten. Mellersta enheten utgörs av olikfärgade sandstenar, mostenar och konglomerat. Översta enheten består av mörka silt- och lerstenar med inslag av kalksten (Wik m.fl., 2006). De sedimentära bergarterna har skyddats från erosion och blivit bevarade tack vara sitt djupa läge Vättersänkan.

Borrningar utförda i centrala Jönköping visar att mäktigheten hos Visingsöformationen ökar i östlig riktning, från ett tiotal meter i Jönköpings västra delar, till mer än 231 m i stadsdelen Rosenlund. De flesta brunnar som borrats i centrala Jönköping har dock inte penetrerat Visingsöformationen. Den totala mäktigheten är därför dåligt känd i centrala Jönköping. Borrningar utförda inom centrala Huskvarna har precis som i fallet med Jönköping i de flesta fall inte penetrerat Visingsöformationen. I några fall har formationen genomborrats och dessa brunnar ligger företrädesvis i östra delen av Huskvarna och på randen mot urbergsområdet i öster.

Gravimetriska mätningar antyder en mäktighet hos Visingsöformationen som ligger mellan 300 och 400 m (VIAK, 1980). Formationens största mäktighet har dock uppskattats till över 1000 m, men då i höjd med Visingsö och längs Vätterns östra sida (Geijer m.fl., 1951 och VIAK, 1980).

Sandstenen i Visingsöformationen har gynnsamma termiska egenskaper. Jämfört med urberg (t.ex. granit) så är värmeledningsförmågan generellt sett lägre och värmekapaciteten generellt sett högre, se tabell 4.1. Detta innebär att en större mängd termisk energi kan inlagras eller avges för varje grad som temperaturen ökar eller minskar och att värmetransporten sker långsammare. En långsam värmetransport är gynnsamt då det minskar värmeförlusterna till omgivningen.

Jord

I centrala Jönköping och Huskvarna överlagras berggrunden av kvartära jordlager. De höglänta urbergsområdena väster om Jönköping och öster om Huskvarna samt Bondberget mellan Jönköping och Huskvarna begränsar de kvartära jordlagrens utbredning och mäktighet.

Inom Jönköpings och Huskvarnadalen har de kvartära jordlagren fyllt ut vättersänkan. Jordlagrens mäktighet varierar kraftigt. Enligt studerade brunnsprotokoll och SGU:s beskrivning till jordartskartan (Wik m.fl., 1985) är mäktigheten generellt sett störst i de centrala delarna av Jönköping respektive Huskvarna för att sedan tunna ut mot de höglänta urbergsområdena. I Jönköping har den största jordlagermäktigheten uppmätts till 196 m norr om Rocksjön. Andra borrningar kring Rocksjön och söder om Munksjön antyder ett jorddjup på omkring 100 m eller mer i detta område. I centrala Huskvarna uppgår jordlagrens mäktighet till drygt 50 m enligt utförda borrningar.

I bilaga 3 redovisas SGU:s jordartsgeologiska karta över de ytligt förekommande naturliga jordarterna (SGU, 1984). Jordartskartan visar att variationen är stor inom området. Några generella drag anges ändå i SGU:s beskrivning till jordartskartan (Wik m.fl., 1985). Ytligt inom både centrala Jönköping och Huskvarna utgörs de naturliga jordarterna dels av isälvsmaterial men framförallt olika postglaciala sediment. Isälvavlagringarna förekommer främst vid lokala höjdområden och utmed dalgångarnas sidor. De postglaciala sedimenten dominerar i lågområdena (Wik m.fl., 1985). Kring sjöarna Munksjön och Rocksjön finns relativt stora områden med organiska jordarter. Idag har stora delar av dessa torvmarker fyllts ut. Mellan Jönköping och Huskvarna vid Rosenlund finns ett sammanhängande område med glacial lera.

Morän dominerar där terrängen höjer sig mot de omgivande urbergsområdena. Detta är särskilt tydligt på Bondbergets västra och norra sluttning. En speciell typ av morän förekommer inom området. Den s.k. Rosenlundsmoränen som utgörs av hårt packad morän med hög andel finkornigt material och där grövre material nästan helt saknas. Andra vanligt förekommande moräntyper är siltiga och leriga moräner som endast skiljer sig från Rosenlundsmoränen genom en högre andel av lera, grus, sten och block (SGU, 1985). De omgivande höglänta områdena domineras av berg i dagen alternativt tunna och osammanhängande jordlager direkt på urberget.

Borrprotokoll och uppgifter från olika fältundersökningar visar att variationen är stor. Täta och genomsläppliga jordlager kan förekomma i en växelvis lagerföljd (Sweco, 2010). Generellt dominerar genomsläppliga jordlager ytligt och täta jordarter på djupet. I vissa fall förekommer dock mer eller mindre mäktiga lager av genomsläppliga jordarter direkt på Vising-söformationen (Persson, 2010). I SGU:s beskrivning till jordartskartan nämns speciellt att utbredda och mäktiga lager av morän kan överlagra grövre sorterade glaciala sediment i Vättersänkan (Wik m.fl., 1985).

Tabell 4.1. Karaktäristiska värden på materialegenskaper för några huvudtyper av berg- och jordarter samt vatten.

	Värmeledningsförmåga, λ [W/(m·°C)]	Värmekapacitet, c [MJ/(m ³ ·°C)]
Vatten	0,59 (+25 °C) ⁽¹⁾ 0,56 (+0 °C) ⁽¹⁾	4,18 (flytande form)
Kristallint urberg (t.ex. granit)	1,4 - 3,8 ⁽¹⁾ 3 - 4 ⁽²⁾	2,1 ⁽¹⁾ 2,0 - 2,3 ⁽²⁾
Sandsten	2,2 - 5,4 ⁽¹⁾ 2,0 - 3,4 ⁽²⁾	1,9 ⁽¹⁾ 2,2 - 3,0 ⁽²⁾
Sand och grus (vattenmättad)	1,7 ⁽¹⁾ 1,0 - 2,4 ⁽²⁾	2,8 ⁽¹⁾ 1,4 - 2,9 ⁽²⁾
Lera och silt (vattenmättad)	1,0 - 1,2 ⁽¹⁾ 1,0 - 2,0 ⁽²⁾	3,5-3,6 ⁽¹⁾ 1,7 - 3,6 ⁽²⁾
Morän (vattenmättad)	2,3 ⁽¹⁾ 1,5 - 2,5 ⁽²⁾	2,7 ⁽¹⁾ 1,4 - 2,9 ⁽²⁾

¹ Hård, 1984.

² Gustafson, 1984.

I tabell 4.1 anges de termiska egenskaperna för vattenmättade förhållanden i jord. Vid omättade (torra) förhållanden är både värmeledningsförmåga och värmekapacitet låg. För geoenergitillämpningar är den vattenmättade zonen i marken mest intressant. Jord har generellt sett lägre värmeledningsförmåga än berg, vilket framgår av tabell 4.1. Värmekapaciteten för olika jordar är dock i samma storleksordning som för olika bergarter. För finkorniga jordar som lera och silt kan värmekapaciteten vara relativt hög.

Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattnets förekomst och uppträdande i jord och i berg styrs av grundvattenbildningen, topografin, omgivande ytvatten och det fasta materialets hydrauliska egenskaper. Inom Jönköping och Huskvarna förekommer grundvattnet i jordlagren, sedimentberg-

grunden (Visingsöformationen) och i urberggrunden. De hydrogeologiska förhållandena inom både Jönköping och Huskvarna är likartad, precis som geologin.

Grundvatten bildas från den del av nederbörden som infiltrerar marken och perkolerar ned till den mättade grundvattenzonen. Det nybildade grundvattnet rör sig från topografiska höjdområden mot lägre områden under inverkan av gravitationen. I lågområden strömmar grundvattnet ut i t.ex. sjöar och vattendrag. I Jönköpings- och Huskvarnadalen bildas grundvatten i höglänta områden och strömmar ut i lägre belägna sjöar och vattendrag, t.ex. Vättern, Huskvarnaån eller Munksjön.

Grundvattnet strömmar i det fasta materialets porer (jord) eller sprickor (berg). I Visingsöformationen, som delvis består av sandsten, kan det förekomma både sprickor och porer. Strömningshastigheten bestäms av materialets genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) och lutningen på grundvattenytan (hydrauliska gradient). Enligt tidigare utförda grundvattenundersökningar har grundvattnets trycknivå i Visingsöformationen inom Jönköping en naturlig gradient av ca 1 ‰ i riktning mot Vättern (VIAK, 1980).

Skillnad i grundvattenbildning, topografi och hydraulisk konduktivitet mellan olika jord- och berglager kan ge upphov till en tryckskillnad i grundvattnet mellan olika geologiska enheter. Som angetts i föregående avsnitt är den geologiska variationen stor både horisontellt och vertikalt. Täta och genomsläppliga geologiska enheter är växelvis lagrade och sannolikt förekommer olika trycknivåer i jordlagren, en trycknivå i sandstenen tillhörande Visingsöformationen och möjligen en trycknivå i urberget.

Förenklat sett och i enlighet med den generella geologiska tolkningen förekommer tryckskillnad huvudsakligen mellan de mer genomsläppliga ytliga jordlagren och sandstenen som ingår i Visingsöformationen. Skillnaden uppstår p.g.a. att täta jordlager med låg hydraulisk konduktivitet (t.ex. Rosenlundsmoränen) separerar de två geologiska enheterna (Sweco, 2009 och 2010). Enhetliga geologiska formationer med relativt hög hydraulisk konduktivitet och där vatten kan utvinnas i tillräcklig mängd för något visst ändamål benämns akviferer. De ytliga genomsläppliga jordlagren och sandstenen i Visingsöformationen utgör två olika akviferer.

Enligt arbetsmaterial från SGU förekommer de sorterade och genomsläppliga jordarterna yttligt i hela centrala Jönköping (Persson, 2010). Den ytliga akviferen är av öppen typ, d.v.s. vid grundvattenytan råder atmosfärstryck. Möjliga nettouttag av grundvatten har bedömts utifrån utbredning och grundvattenbildning till några liter per sekund men på vissa platser betydligt mer (Persson, 2010). Enligt uppgifter från borrhningar finns också genomsläppliga och vattenförande jordarter som på vissa platser underlagrar Rosenlundsmoränen. Dessa jordlager utgör antingen en egen enhetlig sluten akvifer i jord alternativt finns hydraulisk kontakt med den slutna akviferen i Visingsöformationen.

Sandstensakviferen är av sluten karaktär då täta jordlager avskärmar akviferen. Det kan råda över- eller undertryck jämfört grundvattentrycket i överlagrande jordlager. På vissa platser inom Jönköping förekommer övertryck, s.k. artesiskt tryck, i sandstensakviferen (Sweco, 2010). Ett läckage av grundvatten sker genom det täta lagret. Storleken och riktningen på läckaget styrs av tryckskillnaden över det täta lagret och det täta lagrets hydrauliska konduktivitet. Läckaget är dock så litet att tryckskillnaden mellan akvifererna består. I praktiken är akviferens karaktär oftast en övergångsform mellan öppna och slutna förhållanden. Vilka

förhållanden som råder kan bestämmas genom hydrogeologiska fältundersökningar, t.ex. provpumpning.

Vid uttag eller återföring av vatten från eller till sandstensakviferen sänks eller höjs grundvattnets trycknivå i akviferen. Tryckförändringen begränsas till sandstensakviferen på grund av de slutna förhållandena. Detta innebär att grundvattennivåerna i ytliga jordlager och vattennivåerna i ytvatten påverkas i liten eller mycket liten omfattning.

För dimensionering av ett akviferlager är det avgörande att känna till hur stora mängder vatten som kan uttas från akviferen. Storleken på vattenuttaget styrs framförallt av akviferens horisontella och vertikala utbredning, grundvattenbildningen och dess hydrauliska egenskaper. Hydraulisk konduktivitet är en viktig parameter som anger hur vattenförande en geologisk formation är. I tabell 4.2 redovisas karaktäristiska värden på hydraulisk konduktivitet och porositet för jord- och bergarter. I ett akviferlager återförs vattnet till akviferen vilket innebär att inget nettouttag av grundvatten sker, till skillnad från t.ex. en vattentäkt. Att uppumpat grundvatten återförs till akviferen medför att grundvattenbildningen är av mindre intresse.

Tabell 4.2. Karaktäristiska värden på hydrauliska konduktivitet för några berg- och jordarter som förekommer inom Jönköping och Huskvarna. Värdena är sammanställda från litteratur (Domenico och Schwartz, 1997).

	Hydraulisk konduktivitet, K [m/s]	Porositet, n [-]
Kristallint urberg	3·10 ⁻¹⁴ - 2·10 ⁻¹⁰	0,0 - 0,05
Kristallint urberg (uppsprucket)	8·10 ⁻⁹ - 3·10 ⁻⁴	0,0 - 0,1
Sandsten (allmänt)	3·10 ⁻¹⁰ - 6·10 ⁻⁶	0,05 - 0,3
Sandsten (Visingsöformation)	1·10 ⁻⁵ - 1·10 ⁻⁷ (1)	-
Grus	3·10 ⁻⁴ - 3·10 ⁻²	0,24 - 0,38
Sand	2·10 ⁻⁷ - 6·10 ⁻³	0,26 - 0,53
Silt	1·10 ⁻⁹ - 2·10 ⁻⁵	0,34 - 0,61
Lera	1·10 ⁻¹¹ - 4,7·10 ⁻⁹	0,34 - 0,60
Morän	1·10 ⁻¹² - 2·10 ⁻⁹	-

¹ Sweco, 2010

Grundvattnets temperatur

Solenergin når genom direktinstrålning, nederbörd och vind, ner till ett djup av ca 10 m. På detta djup ligger temperaturen på ungefär samma nivå som årets medeltemperatur i luften. I Jönköping är årsmedeltemperaturen ca +6 °C i det ytliga grundvattnet (Poulsette m.fl., 1989). Temperaturen ökar något mot djupet på grund av den geotermiska gradient som finns överallt. Temperaturen på grundvattnet i Visingsöformationen är konstant under året och varierar mellan ca +10-11 °C beroende på djup.

År 1977 mättes och loggades temperaturen för varje meter i en brunn vid Liljeholmen, norr om Rocksjön, i centrala Jönköping (arkivmaterial Sweco, 1977). Brunnen benämns f.d. Östra Reningsverket, nr 2, i brunnsinventeringen. Brunnen är den djupaste kända borrhningen i Jönköping och Huskvarna. Temperaturmätningarna visade att temperaturen avtog från markytan och ned till ca 15 m där temperaturen var ca +7 °C och konstant ned till 30 m under markytan. I jordlagren mellan 30 och 196 m under markytan ökade temperaturen med knappt +2 °C per 100 m. I Visingsöformationen mellan 196-303 m under markytan

varierade temperaturen mellan ca +10-11 °C och ökade i snitt med knappt +1 °C per 100 m.

Grundvattnets kemiska sammansättning

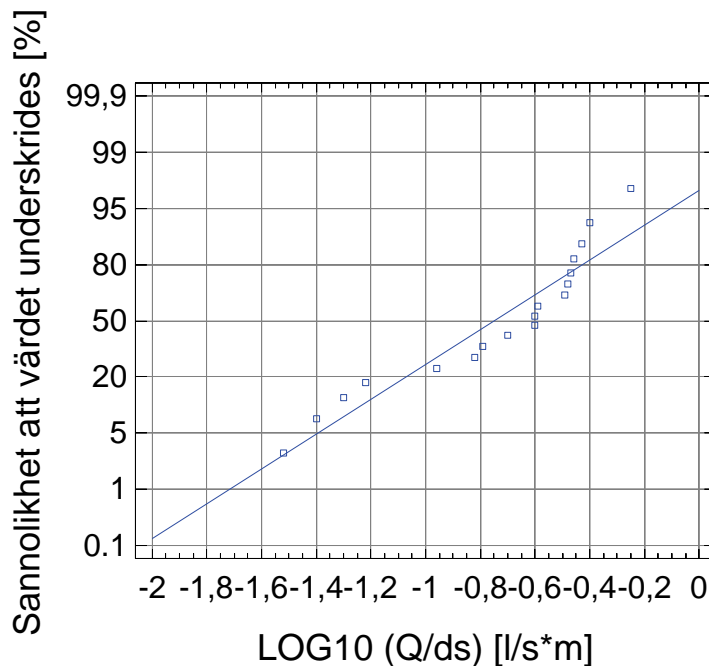
Utförda grundvattenundersökningar har visat att det förekommer lokala variationer i grundvattnets kemiska sammansättning inom Visingsöformationen i Jönköping (Sweco, 2009 och 2010).

Normalt sett råder reducerade förhållanden i grundvattnet från Visingsöformationen. Detta indikeras av att eventuellt kväve finns i form av ammonium. Halter av järn och mangan har visat sig vara höga på ett antal platser.

Grundvattnets pH-värde är svagt alkaliskt, vilket beror på en hög alkalinitet och hög hårdhet. Alkaliniteten varierar mellan höga till mycket höga nivåer (Naturvårdsverket, 1999). Vad beträffar hårdheten har både medelhårt (5-10 °dH) och mycket hårt (>20 °dH) vatten påträffats.

Brunnsinventering

Totalt har uppgifter från 82 brunnar sammanställts och från 18 av dessa har den specifika kapaciteten gått att beräkna och bearbeta statistiskt. Medianvärdet för de 18 brunnarna är 0,25 l/(s m). Värdena har anpassats till en log-normalfördelning med ett medianvärde på knappt 0,2 l/(s m). Detta innebär att sannolikheten är 50 % att en brunn ger mer vatten än 0,2 l/s per meter avsänkning i brunnen vid nettouttag och 50 % att den ger mindre vatten. I figur 4.1 redovisas den statistiska fördelningen som värdena har anpassats till.



Figur 4.1. Statistiskt bearbetade värden på specifik kapacitet för brunnar installerade i Visingsöformationen inom Jönköping och Huskvarna.

Kostnads- och miljönytta

System

Baserat på de dimensionerande förutsättningarna som anges i avsnitt 3.3 har den årliga energiförbrukningen för de båda jämförelsesystemen beräknats, se tabell 4.3.

Den totala energiförbrukningen är 75-79 % lägre för system med akviferlager jämfört med referensalternativen med fjärrvärme och konventionell kyla. Framförallt är det den insparade fjärrvärmens som ger skillnaden. Elförbrukningen är ungefär densamma, förutom i jämförelsesystem 2 där enbart ett värmebehov föreligger och där enbart systemet med akviferlager förbrukar elenergi.

Tabell 4.3 Beräknad årlig andel inköpt energi för system med akviferlager jämfört med referenssystem bestående av fjärrvärme och konventionell kyla.

Energislag	Enhet	Jämförelsesystem 1		Jämförelsesystem 2	
		Akviferlager	Referens	Akviferlager	Referens
Fjärrvärme	[MWh]	-	1 400	-	1 400
El	[MWh]	375	400	350	-
Totalt	[MWh]	375	1 800	350	1 400

Kostnadsnytta

Med beräkningsförutsättningar som anges i avsnitt 3.3.2 har den årliga energikostnaden beräknats för system med akviferlager och referensalternativen.

Beräkningen visar att systemen med akviferlager i båda fallen har lägre driftskostnader än referensalternativet. I fallet med både värme och kyla är driftskostnaderna drygt 54 % lägre, medan skillnaden i fallet med enbart kyla uppgår till knappt 14 %, se tabell 4.4. Det mest kostnadseffektiva systemet är det med akviferlager som producerar både värme och kyla (0,16 kr per producerad kWh). Det minst kostnadseffektiva systemet är det referenssystem som levererar värme och kyla (0,35 kr per producerad kWh).

Tabell 4.4 Jämförelse av beräknad årlig energiförbrukning och energikostnad mellan system med akviferlager och referenssystem med fjärrvärme och konventionell kyla.

Energislag	Enhet	Jämförelsesystem 1		Jämförelsesystem 2	
		Akviferlager	Referens	Akviferlager	Referens
Fjärrvärme	kkkr	-	419	-	419
El	kkkr	386	411	360	-
Totalt	kkkr	386	830	360	419
Jämförelsepris ¹	kr/kWh	0,16	0,35	0,26	0,30

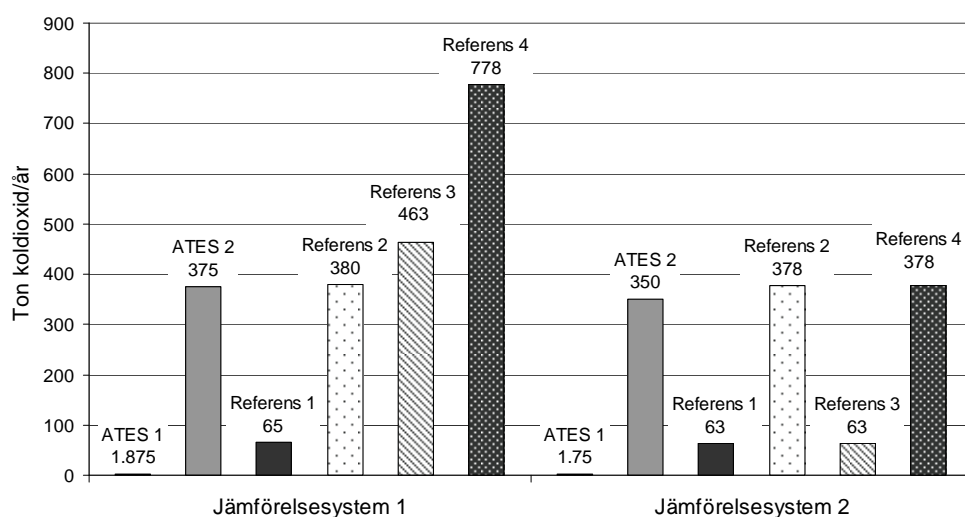
¹ Avser kostnad per producerad kWh (värme och kyla).

Miljönytta

Bedömningen av miljönytta utgår från de förbrukningar och emissionsfaktorer som anges i avsnitt 3.3.1 och 3.3.3.

Valet av värme- och kylsystem ur utsläppssynpunkt (koldioxid) är mycket beroende av de lokala förutsättningarna samt vilka antaganden som görs. De utförda beräkningarna visar dock att ett system med akviferlager som drivs med förnyelsebar elenergi genererar de med marginal lägsta emissionerna av koldioxid, knappt 2 ton/år (se figur 4.2).

Referenssystemet med bibränslebaserad fjärrvärme och där förnyelsebar elenergi nyttjas för den konventionella kylan utgör i emissionsavseende det näst bästa alternativet (ca 65 ton CO₂/år).



Figur 4.2. Emissioner av koldioxid i ton/år för två jämförande systemalternativ. Jämförelsesystem 1 omfattar en årlig produktion av 1 400 MWh värme och 1 000 MWh kyla exkl spetslaster. Jämförelsealternativ 2 omfattar en årlig produktion av 1 400 MWh värme och 0 MWh kyla. ATES 1 är ett grundvattenbaserat system där förnyelsebar el nyttjas, medan ATES 2 är ett grundvattenbaserat system där el produceras av kolkondens. Referenssystemen utgörs av fjärrvärme och konventionell kyla. Referens 1 utgörs av bibränsledominerad fjärrvärme och där förnyelsebar el nyttjas för kylning. Referens 2 utgörs av mer fossilbaserad fjärrvärme och där förnyelsebar el nyttjas för kylning. Referens 3 utgörs av bibränsledominerad fjärrvärme och där el från kolkondens nyttjas för kylning. Referens 4 utgörs av mer fossilbaserad fjärrvärme och där el från kolkondens nyttjas för kylning.

Potential

Potentialbedömningen har utförts enligt de två teoretiska överslagsmässiga metoder som redovisats i avsnitt 3.4. Indata och ansatta värden för beräkning enligt de två metoderna redovisas i tabell 4.5. I tabell 4.6 redovisas resultatet av potentialbedömningen.

Tabell 4.5. Indata och ansatta värden för potentialbedömning enligt metod 1 och 2.

	Enhet	Metod 1	Metod 2
Visingsöformationens area, A	[km ²]	23	23
Visingsöformationens mäktighet, b	[m]	100	-
Värmekapacitet akvifer, c	[MJ/(m ³ ·°C)]	2,3	-
Värmekapacitet vatten, c _v	[MJ/(m ³ ·°C)]	4,18	4,18
Inlagrings- och utvinningstid, t _{in}	[dagar]	150	150
Temperaturförändring, ΔT	[°C]	5	5
Brunnsavstånd inom kall resp. varm sida	[m]	-	30
Brunnsavstånd mellan varm och kall sida	[m]	-	100
Vattenuttag per brunn, Q	[l/s]	-	3

Tabell 4.6. Beräknade resultat av potentialbedömning enligt metod 1 och 2.

	Enhet	Metod 1	Metod 2
Toalt vattenuttag, Q [m ³ /s]	[m ³ /s]	49	11,6
Effekt, P [MW]	[MW]	1020	240
Energi, E [GWh]	[GWh]	3674	864
Totalt antal brunnar	[-]	-	7744
Antal brunnar per sida	[-]	-	3872

Diskussion

De geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna för geoenergi inom Jönköping och Huskvarna har beskrivits mot bakgrund av befintlig information samt utförd brunnsinventering. Beskrivningen av olika geologiska enheters utbredning, mäktighet och lagerföljder är förenklad och bör betraktas som en generell beskrivning. Vid anläggande av geoenergisystem är det därför viktigt att de lokala geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna undersöks.

Visingsöformationens utbredning anges något olika i på olika kartframställningar. Skillnaderna indikerar att formationens exakta utbredning är dåligt känd. Detta är särskilt tydligt om man jämför SGU:s senaste tolkning av Visingsöformationens utbredning inom Jönköping och Huskvarna med nu utförd brunnsinventering. Till exempel så ligger brunnarna 24 och 25, där sandsten angivits i borrhprotokollen, betydligt längre mot öster än vad SGU:s tolkade utbredning anger.

Ett rimligt genomsnittligt vattenuttag för brunnar ingående i ett akviferlager och som installerats i Visingsöformationen bedöms mot bakgrund av den statistiska bearbetningen vara i ca 2-4 l/s. Vattenuttagets storlek beror av vilken avsänkning som tillåts i brunnen. En avsänkning på ca 10 m i uttags- och återföringsbrunnar är önskvärd vid drift av ett akviferlager. I ett akviferlager sker inget nettouttag av vatten och vattnet återförs relativt nära uttagspunkten. Detta innebär att avsänkningen blir mindre i uttagsbrunnen än vid ett nettouttag av grundvatten.

Visingsöformationens fördelar är framförallt dess vattenförande egenskaper, relativt låga värmeledningsförmåga och relativt höga värmekapacitet. Akviferens slutna karaktär är också en fördel då förändringar av grundvattnets trycknivå vid uttag eller återföring av vatten till största delen begränsas till sandstensakviferen. Detta minskar risken för sättningar hos byggnader och infrastruktur som anlagts i ytliga jordlager.

Då grundvattnets kemiska sammansättning har visat sig variera inom Visingsöformationen är kemiska analyser av grundvattnet i samband med undersökningsborrning och provpumpningar viktiga inför projekteringen av värme- och kylsystemet. Vattnets kemiska sammansättning är av betydelse främst för bedömning av korrosions- och igensättningsproblem i brunnar och värmeväxlare. Vattnet från Visingsöformationen kan, ur teknisk synvinkel, vara både korrosivt och utfällningsbenäget. Detta gör att oxidation oftast måste förebyggas med systemtekniska åtgärder (slutet och trycksatt system). Även vattnets hårdhet bör ofta beaktas eftersom stora tryckfall samt förhöjd temperatur potentiellt kan leda till utfällningar av kalk i brunnar, ledningar och värmeväxlare.

Vattenförande geologiska formationer i jordlager med gynnsamma termiska egenskaper bedöms kunna finnas mot bakgrund av den geologiska och hydrogeologiska beskrivningen. Att anlägga ett akviferlager i jord kan därför vara ett komplement till att anlägga akviferlagret i Visingsöformationen. Kunskapen om jordakviferernas egenskaper inom Jönköping och Huskvarna är dock inte lika stor som kunskapen om Visingsöformationen vilken kan kräva mer omfattande undersökningar. En akvifer i jord kan vara av både öppen eller sluta

ten karaktär och vid påverkan på grundvattnets trycknivåer i ytliga jordlager finns risk för sättningsskador på byggnader och infrastruktur.

För bedömning av kostnads- och miljönytta har två jämförelsesystem studerats. I det ena fallet har system med akviferlager jämförts med system bestående av fjärrvärme och konventionell kyla för produktion av värme och kyla. I det andra fallet har system med akviferlager jämförts med system bestående av fjärrvärme för produktion av värme.

Den antagna värmeproduktionen i samtliga system uppgår till 1 400 MWh/år. Utgående från Boverkets byggregler (där den specifika energianvändningen är angiven till 100 kWh/m² och år) skulle systemen potentiellt kunna försörja t.ex. ett större kontor eller en vårdcentral (14 000 m²).

Installation av ett grundvattenbaserat system ger normalt sett en lägre total energiförbrukning. Jämfört med referensalternativ med fjärrvärme och konventionell kyla uppgår besparingen i exemplet till 79 %, enligt utförda beräkningar. Framförallt är det en besparing av fjärrvärme som görs medan förbrukningen av el är ungefär densamma. Energibesparingen är 75 % i fallet där kyla från akviferen inte nyttjas. Dock har inte tagits i beaktande att lagret i det senare fallet behöver återladdas med värme under sommarhalvåret.

Beräkningen av driftskostnader visar att de grundvattenbaserade systemen är fördelaktiga jämfört med referenssystemen bestående av fjärrvärme och konventionell kyla. Jämförelsen visar också på att det balanserade uttaget av både värme och kyla ger de lägsta driftskostnaderna uttryckt i kr/kWh, även jämfört med system där enbart ett värmebehov ska täckas. Detta visar att det grundvattenbaserade systemet blir betydligt mer effektivt i de fall där akviferlagret utnyttjas för både värme- och kylproduktion.

Att anlägga ett geoenergisystem innebär i de flesta fall en merinvestering jämfört med anslutning till ett mer konventionellt system. De kostnader som tillkommer omfattar brunnsborrning, värmeväxlare, värmepumpar m.m. För ett akviferlager tillkommer också kostnader för geologiska och hydrogeologiska undersökningar samt tillståndprocess.

Storleken på merinvesteringen varierar från fall till fall, och har därför inte bedömts i denna utredning. För att bedöma ifall geoenergi är ekonomiskt fördelaktigt för ett objekt bör därför de ekonomiska förhållandena utredas för varje enskilt fall.

Med vetskap om storleken på merinvesteringen kan preliminära återbetalningstider beräknas. Återbetalningstiderna beror till stor del på de alternativ som finns att tillgå, men erfarenhetsmässigt uppgår raka återbetalningstider för en geoenergianläggning på 2-10 år.

Beräkningar av emissioner av koldioxid för grundvattenbaserade energisystem har utförts och jämförts med referensalternativ bestående av fjärrvärme och konventionell kyla. Resultatet visar att ett grundvattenbaserat system som drivs med förnyelsebar elenergi i princip är koldioxidneutralt totalt sett och med marginal är det mest fördelaktiga systemet i detta avseende. Just valet av elenergi påverkar emissionerna stort. Ett grundvattenbaserat system som istället drivs med el producerad av kolkondens ger emissioner i samma storleksordning som flera av referenssystemen.

Det system som ger upphov till näst minst emissioner är det referenssystem som utgörs av biobränslebaserad fjärrvärme och där förnyelsebar elenergi nyttjas för den konventionella kylan.

Den maximala potentialen för utvinning av geoenergi uppskattades med två olika teoretiska metoder. Enligt metod 1 beräknades endast en högsta teoretisk effekt- och energipotential utan att hänsyn togs till några praktiska begränsningar. Denna effekt och energimängd är inte möjlig att utvinna av flera olika praktiska anledningar. Uppskattning av potentialen enligt metod 2 innebar att hänsyn även togs till att brunnar i ett akviferlager måste ha ett visst inbördes avstånd, både mellan brunnar inom varm respektive kall sida samt mellan varm och kall sida. Även i detta fall bedöms dock potentialen att överskattas kraftigt då antalet möjliga brunnspaceringar i verkligheten begränsas av faktorer som t.ex. sjöar, byggnader och övrig infrastruktur, tekniska och ekonomiska begränsningar när det gäller brunnborrning, skyddade natur- och kulturområden samt fastighetsrättsliga frågeställningar.

En rimlig ansats är att endast en del av dessa brunnar är möjliga att placera. I praktiken begränsas den teoretiskt maximala potentialen av fler faktorer än möjliga brunnspaceringar. Viktiga begränsande faktorer är variation av de geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna samt värmeförluster i akviferen och i värme- och kylsystemet etc.

Uppskattningsvis bedöms mellan 5-25 % av totala antalet nödvändiga brunnar enligt metod 2 vara möjliga att placera. Den area som skulle krävas för placering av dessa brunnar är ca 1-6 km² och motsvarar ca 1-6 gånger Munksjöns yta då Munksjöns yta är ca 1 km². I bilaga 1a framgår Munksjöns yta i relation till den av SGU bedömda utbredningen av Visingsöformationen. Den yta som anges avser den yta av formationen som tas i anspråk. Den yta som brunnarna upptar i markytan är mycket liten och det finns inga hinder för placering av byggnader etc. mellan brunnar eller brunnsgupper. Effektpotentialen för utvinning och lagring av termisk energi i Visingsöformationen inom Jönköping och Huskvarna uppgår därmed maximalt till 12-60 MW. Uppskattningsvis kan en energimängd motsvarande 43-216 GWh värme och lika stor mängd kyla utvinnas direkt från grundvattnet i Visingsöformationen i centrala Jönköping och Huskvarna på årsbasis. Denna uppskattning förutsätter ett konstant effektuttag samt system där uttag av värme/kyla från grundvattnet är balanserat över året.

Som en jämförelse till den uppskattade värmeenergipotentialen på 43-216 GWh kan nämnas att energitillförseln från trädbränsle för hela länet 2007 var 2263 GWh. Trädbränslet stod då för ca 18 % av den totala energitillförseln (12 253 GWh) i länet (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2010). Ett exempel på en energiförbrukare är Länssjukhuset Ryhov som under 2010 förbrukade knappt 27 GWh fjärrvärme (Landstingsfastigheter, 2011). Energi-potentialen för utvinning av värme från grundvattnet i Visingsöformationen, enbart inom Jönköping och Huskvarna, kan därmed uppskattas till mellan ca 0,4 och 1,8 % av den totala energiförbrukningen inom Jönköpings län eller fjärrvärmeförbrukningen hos knappt 2 till 8 sjukhus motsvarande Länssjukhuset Ryhov.

Potentialbedömningen ger indikation på vilka möjligheter som kan finnas. Idag finns endast ett fåtal kända småskaliga grundvattenbaserade anläggningar för utvinning av antingen värme eller kyla från Visingsöformationen. I ett par fall finns långtgående planer på att anlägga fullskaliga akviferlager för utvinning av både värme och kyla. Visingsöformationen inom Jönköping och Huskvarna är fortfarande till största delen oexploaterad m.a.p. på ut-

Borrhålslager kräver normalt sett fler brunnar än ett akviferlager. Borrning i jord kräver fodderrörsborrning vilket är dyrare än att borra direkt i berg. De mäktiga jordlagren inom Jönköping och Huskvarna medför därför att investeringskostnaderna för ett borrhålslager sannolikt skulle bli högre än för ett akviferlager. Borrhålslager bedöms i första hand vara ett bra alternativ i områden utanför Jönköping och Huskvarna där lämpliga akviferer i jord eller berg saknas.

Slutsatser

De geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna för att anlägga akviferlager i Visingsöformationen bedöms som goda. En brunn installerad i Visingsöformationen kan förväntas att ge ett flöde på ca 2-4 l/s beroende på avsänkning brunnen. Temperaturen i grundvattnet i Visingsöformationen är konstant under året och varierar mellan ca +10-11 °C beroende på djup. Vatten från Visingsöformationen uppvisar lokala variationer i den kemiska sammansättningen vilket kan ställa krav på utformningen av värme- och kylsystem.

Ett grundvattenbaserat system ger en lägre total energiförbrukning än ett referenssystem med fjärrvärme och konventionell kyla.

Ett grundvattenbaserat system där både värme och kyla utvinns ger den lägsta driftskostnaden, uttryckt i kr/kWh, i jämförelse med referensalternativ med fjärrvärme och konventionell kyla samt system där enbart värme uttas.

Ett grundvattenbaserat system är näst intill koldioxid neutralt om det drivs med förnyelsebar elenergi. Val av elenergi samt lokala variationer rörande referenssystem (t ex fjärrvärmens ursprung) påverkar resultatet av jämförande emissionsberäkningar.

Visingsöformationen inom Jönköping och Huskvarna är till största delen oexploaterad m.a.p. på utvinning och lagring av termisk energi trots de till synes goda geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna.

Den teoretiskt uppskattade maximala effektpotentialen för utvinning och lagring av termisk energi i Visingsöformationen inom Jönköping och Huskvarna uppgår till mellan 12-60 MW. Givet ett konstant effektuttag så kan en energimängd på mellan 43-216 GWh utvinnas som värme eller kyla per säsong (5 månader) direkt från grundvattnet. Energipotentialen för utvinning av värme eller kyla från grundvattnet i Visingsöformationen, enbart inom Jönköping och Huskvarna, kan uppskattas till mellan ca 0,4 och 1,8 % av den totala energiförbrukningen inom Jönköpings län eller fjärrvärmeförbrukningen hos knappt 2 till 8 sjukhus motsvarande Länssjukhuset Ryhov.

Att anlägga akviferlager i jord kan vara ett komplement till att anlägga akviferlager i Visingsöformationen. Borrhållager bedöms i första hand vara ett bra alternativ i områden utanför Jönköping och Huskvarna där lämpliga akviferer i jord eller berg saknas. Vid anläggande av geoenergisystem är det viktigt att de lokala geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna undersöks i tillräcklig omfattning.

Referenser

Litteratur

Gustafson, G., m.fl. (1984) Säsongslagring av högt tempererat vatten i Visingsö-Sandstenen. Rapport R194:1984. Jönköping: Byggeforskningsrådet

Carlsson, L., Gustafsson, G. (1984) Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. Stockholm: Byggeforskningsrådet

Temperaturloggning av bergborrad brunn vid Liljeholmen i Jönköping. Arkiverat arbetsmaterial. (1977) Jönköping: Sweco Environment AB

Svantesson, S. (1985) Beskrivning till jordartskartan, Jönköping SV, SGU Serie Ae nr 59. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning

Pousette, J, m.fl. (1989) Beskrivning till kartan över grundvattnet i Jönköpings län, SGU Serie Ah nr 11. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning

Wik, N-G., m.fl. (2006) Beskrivning till regional berggrundskarta över Jönköpings län, SGU Serie K nr 61. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning

Hård, S. (1984) Energigeologisk kartering – Metodik för inventering av naturvärme- och markvärmelager. Rapport R157:1984. Göteborg: Byggeforskningsrådet

Agerstrand, T., m.fl. (1980) Slutrapport - Energi ur grundvatten – Inventering av stora grundvattenmagasin för energiutvinning med värmepump. NE-Projekt 2060 551. Vällingby: 1980-01-20, uppdragsnummer 4912.2853, VIAK AB

Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG om främjande av förnybara energikällor och om ändring av ett senare upphävande av direktiven 2001/77/EG och 2003/30/EG. Europeiska unionens officiella tidning 5.6.2009. (2009): Europaparlamentet och europeiska unionens råd

Klimat- och energistrategi – Med nya klimatmål för Jönköpings län. Meddelande nr 2010:17. (2010) Jönköping: Länsstyrelsen i Jönköpings län

Miljö- och mediarapport preliminär. (2011) Jönköping: Landstingsfastigheter

Geijer, P., Collini, H., m.fl. (1951) Beskrivning till kartbladet Gränna. SGU Serie Aa nr 139. Stockholm: Sveriges Geologiska Undersökning

Översiktlig geologisk utredning över Vätterns tillrinningsområde. Rapport nr 8. (1970) Jönköping: Kommittén för Vätterns vattenvård i samarbete med Sveriges Geologiska Undersökning

Nathorst, A.G. (1880) Om de äldre sandstens- och skifferbildningarna vid Vetteren, SGU Serie C nr 39. Stockholm: Sveriges Geologiska Undersökning.

Domenico, P.A., Schwartz, F.W. (1997) Physical and Chemical Hydrogeology, 2 uppl. New York: John Wiley & Sons Inc.

Persson, T. (2010) Arbetsmaterial, Hydrogeologisk kartering av Jönköpings kommun i skala 1:50 000. Sveriges Geologiska Undersökning

Akviferlager, Ryhov – Underlag för samråd. (2010) Jönköping: Sweco Environment AB på uppdrag av Landstinget i Jönköpings län

Akviferlager, Västra kajen – Underlag för samråd. (2009) Jönköping: Sweco Environment AB på uppdrag av Fastighets AB Norrporten.

Energiläget i siffror. ET2010:46. (2010) Eskilstuna: Statens Energimyndighet

Koldioxidvärdering av energianvändning - Vad kan du göra för klimatet? Underlagsrapport. (2008) Eskilstuna: Statens Energimyndighet

Grundvatten – Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Rapport 4915. (1999) Stockholm: Naturvårdsverket

Kart- och databasmaterial

Jordartskartan, Jönköping SV, SGU Serie Ae nr 59, skala 1:50 000. (1984) Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning

Berggrundskartan Jönköpings län, SGU Serie K nr 61, skala 1:250 000. (2007) Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning

Internetreferenser

Elnätspriser för olika typkunder, tidsserie (2010). [www] Statistiska Centralbyrån (SCB) <http://www.scb.se/Pages/TableAndChart____24710.aspx> hämtad 2010-05-24

Elpriser för olika typkunder och avtal, tidsserie (2010). [www] Statistiska Centralbyrån (SCB) <http://www.scb.se/Pages/TableAndChart____85471.aspx> hämtad 2011-02-21

Personliga referenser

Persson, Torbjörn (2011) Sveriges Geologiska Undersökning, Göteborg, epost korrespondens och telefonsamtal januari 2011.

Övriga referenser

Berglund, S., Olsson, U. (1992) Uppvärmning och kylning med lågtempererat vatten, Förutsättningar, Erfarenheter, Möjligheter. Stockholm: Statens råd för byggforskning

Hallén, T., Edberg, B. (1985) Västra klinikerna Jönköping – Grundvatten som värmekälla för värmepump. Rapport R88:1985. Göteborg: Byggeforskningsrådet

Markvärme – Utvinning och lagring – BFR's Markvärmegrupp – underlag för BFR's verksamhetsplan 1984-1987. Rapport G4:1984. (1984) Stockholm: Byggeforskningsrådet

Energilagring för bebyggelse. Rapport G2:1991. (1991) Stockholm: Byggeforskningsrådet

Lagring av spillvärme i Visingsösandstenen – Fältundersökningar och värmelagringsförsök. Jönköping 1985-08-20, uppdragsnummer 5012.131128, VIAK AB.

Uppvärmning av lagerbyggnad med värmepump med grundvatten som värmekälla. Två-brunnssystem med återladdning. Jönköping 1982-09-22, uppdragsnummer 5060.200, VIAK AB.

Uppvärmning av lagerbyggnad med värmepump med grundvatten som värmekälla. Två-brunnssystem med återladdning. Jönköping 1982-06-22, uppdragsnummer 5060.200, VIAK AB.

Statens Vattenfallsverk, Projekt Portalen – Grundvatten från Visingsösandstenen som värmekälla – inledande undersökning. Göteborg 1980-01-15, uppdragsnummer 5411.2051, VIAK AB.

Refraktionsseismisk uppmätning av en geologisk sektion söder om Visingsö, Vättern. Stockholm 1984-01-09, Geologiska institutionen Stockholms universitet, Scandiaconsult AB.

Energigeologi – Exempel på verksamhet inom energisektorn vid SGU. Rapporter och meddelanden nr 29. (1982) Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning.

Lundqvist, T. (1979) The precambrian of Sweden, SGU Serie C nr 768. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning.

Vättern vatten vård. (1970) Jönköping: Kommittén för Vätterns vattenvård.

Morad, S. (1983) Petrology of the Visingsö group (upper proterozoic), southern Sweden. UUDMP research report no 34. Uppsala: University of Uppsala Institute of Geology, Department of Mineralogy and Petrology.

-
- Gierup, J., m.fl. (1999) Översiktsstudie av Jönköpings län – Geologiska förutsättningar. SKB Rapport R-99-35. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning.
- Lind, G. (1972) The Gravity and Geology of the Vättern Area, Southern Sweden. Stockholm: Geologiska föreningens i Stockholm Förhandlingar.
- Brotzen, F. (1941) Några bidrag till visingsöformationens stratigrafi och tektonik. Stockholm: Geologiska föreningens i Stockholm Förhandlingar.
- Husqvarna AB – Grundvattenvärme – Redogörelse för grundvattenundersökningar. Jönköping 1982-10-21, uppdragsnummer 5012.131077, VIAK AB.
- Lindqvist, R. (1940) Jönköpings vattenförsörjning. Kommunalteknisk tidskrift nr 5 årgång 6 november 1940. Stockholm: Svenska kommunal-tekniska föreningen.
- Heningssons Förvaltnings AB, Kv Rosengård, PM Beträffande kompletterande uppgifter samt ytterligare undersökningar angående vattentäkten i kv Rosengård. (1983) Jönköping: K-Konsult.
- Heningssons Förvaltnings AB, Kv Rosengård, PM Beträffande fortsatta undersökningar av grundvattenuttag för energiändamål. (1984) Jönköping: K-Konsult.
- Televerket – Huskvarna – Provpumpning av rörbrunn vid telestation. Jönköping 1984-04-02, uppdragsnummer 5012.131111, VIAK AB.
- PM angående eventuella konsekvenser av grundvattenuttag för värmeutvinning på stadsäga nr 327 i Huskvarna. (1983) Stockholm: Allmänna Ingenjörbyrå AB.
- Axberg, S., Wadstein, P. Distributions of the Sedimentary Bedrock in lake Vättern, Southern Sweden. Stockholm Contributions in Geology vol. XXXIV:2 Stockholm: Stockholms universitet.
- Ericsson, B. (1979) Vättersänkan – En geologisk litteraturstudie. Göteborg
- Vidal, G. (1976) Late Precambrian microfossils from the Visingsö Beds in southern Sweden. Fossils and Strata, No. 9, pp. 1-57. Lund: Department of Historical Geology and Palaeontology.
- Lund, C-E. (1974) Seismiska mätningar vid Gränna. Preliminär Rapport No. 5. Uppsala: University of Uppsala, Department of solid Earth Physics.
- Ullerstam, A. (1940) Grundvattenförekomsten i sandstensområdet i Huskvarna och dess betydelse för stadens vattenförsörjning. Teknisk tidskrift – Bergsvetenskap, häfte nr 6 1940-06-08 samt häfte nr 7 1940-07-13. Svenska Teknologföreningen.
- Landstinget i Jönköpings län, Västra klinikerna i Jönköping värmepump på grundvatten från Visingsöformationen. Uppdragsnummer 2012.1049. (1980) Jönköping: VIAK AB.

Yttrande över undersökningar av grundvattentäkt vid Jönköpings läns centrallasarett i Jönköpings stad. Uppdragsnummer 2012.1049. (1958) Jönköping: Ingenjörbyrå VIAK.

Uppvärmning av kontorshus med grundvatten från Visingsöformationen. (1979) Jönköping: VIAK AB.

PM rörande möjligheterna att förse Borstfabriken, Huskvarna med kylvatten genom grundvattenuttag. (1969) Malmö: VIAK AB.