

Bergvärme på djupet

Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar

A photograph of a weathered, rusty metal gas pump standing in a grassy area with trees in the background. The pump is heavily corroded, with orange rust visible on its surface. A black hose is coiled on the ground next to it, and a red-handled nozzle is attached to the pump's outlet. The scene is set in a natural, wooded environment with sunlight filtering through the trees.

Erik Björk
José Acuña
Eric Granryd
Palne Mogensen
Jan-Erik Nowacki
Björn Palm
Kenneth Weber



Bergvärme på djupet

Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar

**Erik Björk, José Acuña, Eric Granryd,
Palne Mogensen, Jan-Erik Nowacki,
Björn Palm & Kenneth Weber**

BERGVÄRME PÅ DJUPET

Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar

ISBN: 978-91-7501-754-9

Tryck: US-AB, Stockholm April 2013

Produktion och layout: Erik Björk KTH Energiteknik och Sebastian Widin US-AB

Papper: Inlaga: Colotech 100g, Omslag: Scandia 270g

Foto: Från bilddatabasen Stock.XHNG (www.sxc.hu)

Denna bok har finansierats av EU med strukturfondsmedel (ERDF) genom projektet GeoPower som är en del av samarbetsprogrammet INTERREG IVC.

Förord

Intresset för bergvärmepumpar som uppvärmningsteknik i småhus och fastigheter är stort i Sverige. Det uppskattas att dessa årligen tillför 11-12 TWh förnybar gratisenergi¹, vilket kan jämföras med den årliga elenergiproduktionen från Sveriges samtliga kärnkraftverk som är ca 65-70 TWh. Värmen pumpas upp från mer än 400 000 energibrunnar som under årets varma period laddas med solenergi. Med en värmepump lyfts temperaturen till de två önskvärda temperaturnivåerna i ett hus; en för tappvarmvatten och en för radiatorsystemet.

Det kan vara intressant att belysa den unika spridning bergvärmepumpstekniken har fått i Sverige jämfört med många andra länder. Det uppskattas att Sverige idag står för ca 25 % av världens samlade geoenergianvändning och att den utgör den tredje största förnyelsebara energikällan i Sverige. Detta trots en ganska medioker berggrundstemperatur på 2-10 °C. Hur kan detta förklaras? Talar du med en politiker kan du få svaret att det är den aggressiva (dvs. höga) beskattningen på fossila bränslen i Sverige som har gett incitament till att finna alternativa uppvärmningsmetoder. Pratar du med en forskare kan du få svaret att det är den tidiga forskningen under 70- och 80-talet inom ämnet som bäddat för framgången. Talar du med borrhöretagen så svarar de kanske att förklaringen är den befintliga kunskapen att borra vattenbrunnar, som bara behövde smärre modifikationer för att anpassas till ett nytt användningsområde. Talar du med en geolog kan svaret bli att det är den stabila svenska berggrunden med dess normalt goda värmeledningsförmåga som är orsaken. Talar du med en ekonom kanske svaret blir att det är den långa och kalla svenska vintern som gör det möjligt att räkna hem den relativt höga investering som en bergvärmepump innebär. Den miljömedvetne kanske svarar att förklaringen är den rena svenska elen, som har liten växthuspåverkan jämfört med andra länders kol- eller gaskraftproducerade elektricitet.

Förmodligen är det så att förklaringen till det svenska ”värmepumpsundret” är flera samverkande faktorer. Efter den s.k. energikrisen på 70-talet insåg man att Sverige behövde bli mindre beroende av olja, vilket var det vanligaste uppvärmningsbränslet på den tiden. Forskning på värmepumpar och energilager initierades samtidigt som beskattningen på de fossila bränslena höjdes, vilket gjorde elpriset jämförelsevis lågt. Det visade sig att den svenska berggrunden var ett bra värmelager. Efterhand som pionjärtiden, då hemmabyggare skruvade ihop sina egna bergvärmepumpsystem, övergick i en mognare fas, där företagen levererade allt mer sofistikerade och energisnåla färdigbyggda värmepumpar, hakade politikerna på och erbjöd omställningsbidrag och ROT-bidrag. För villaägaren var förmodligen grannens val av bergvärmepump en ytterligare bidragande orsak. Här kunde man med egna ögon se att tekniken faktiskt fungerade. När andra uppvärmningsmetoder blev för dyra (t.ex. direktverkande el eller olja), eller värme dåligt när den som mest behövdes (luftvärmepump), erbjöd bergvärmepumpen ett tryggt och ekonomiskt alternativ. Men bergvärmepumpar används idag inte bara för att värma småhus. Den stora tillväxten för bergvärmepumpstekniken sker nu inom området större fastigheter såsom flerbostadshus, kontorsfastigheter, skolor, simhallar o.s.v.

Som exempel på det stora intresset för bergvärmepumpar kan nämnas att besöksfrekvensen på hemsidan www.varmepumpsforum.com, där alla möjliga värmepumpsfrågor diskuteras, är hög. Till och med högre än på energimyndighetens egen hemsida. Hur stor ska bergvärmepumpen vara? Lönar det sig att investera i en bergvärmepump? Hur mycket spar jag? Måste jag byta mina radiatorer? Är det bättre att använda pengarna till att isolera huset än att köpa en värmepump? Behöver jag tillsatsvärme på vintern? Ska man återladda sin energibrunn med värme? Frågorna är många.

¹ Barth et al., 2012, Geoenergin i samhället, www.geotec.se

Inom EU startades 2010 ett tvåårigt projekt² med syftet att främja användandet av geoenergi för att på så sätt minska användningen av fossil energi. Ett av de deltagande länderna var Sverige genom KTH Energiteknik. Projektet bedrevs som ett kunskapsutbyte där goda exempel från den egna regionen beskrevs och presenterades såväl skriftligt som via studiebesök. För att bistå vid utvärderingen av dessa s.k. *best practices* kontrakterades några av Sveriges främsta experter inom området. Men expertgruppen fick också ett annat uppdrag - att skriva en bok för dig som äger eller funderar på att köpa en bergvärmepump. Avgränsningen är bergvärmepumpar för småhus och mindre fastigheter. Det bör nämnas att för den som bara är intresserad av översiktlig och lättläst information om värmepumpar finns utmärkta broschyrer tillgängliga på annat håll, t.ex. på Energimyndighetens (www.stem.se) eller Svenska Värmepumpföreningens (www.svepinfo.se) hemsidor. Materialet i denna bok speglar ett behov att behandla ämnet mera ingående, vilket inte bara köparen av en villa- eller fastighetsvärmepump kan ha nytta av, utan även säljare och installatörer av sådana system. Materialet i denna bok är unikt och många gånger frukten av ett långt arbete inom branschen eller högskolan. Enkla samband och tumregler presenteras som kan vara värdefulla för att köpet av en bergvärmepump ska bli en lyckad investering, både ekonomiskt och för miljön. Metoder att trimma och underhålla sin befintliga värmepump återges, vilket ger både bättre ekonomi och en längre livslängd.

Erik Björk

Redaktör för denna bok och deltagare i projektet GeoPower

² <http://geopower-i4c.eu/>

Innehåll

Förord	3
1. Så fungerar värmepumpen	11
Lite historia	11
Några begrepp och godhetstal	12
Olika arbetscykler	13
Den vanligaste arbetscykeln	14
Köldmedier och problem	17
Viktiga komponenter i en värmepump	19
Värmeväxlare – förångare och kondensor	19
Kompressorer	21
Förutsättningar för att spara energi	22
Värmekällor	22
Varmvattenvärmning	23
Hur kan värmepumpar förbättras?	25
Utveckling i många steg	26
2. Bergvärmepumpar och ekonomi	29
Allmänt om kostnader för värme i bostäder	29
Kostnadsjämförelser	31
Olika metoder för ekonomiska jämförelser	33
Ekonomin med andra energisparåtgärder	33
Bedömning av lönsamhet	35
3. Värmepumpens storlek (och lite mer ekonomi)	41
Effektäckning, energitäckning och investeringskostnad	41
Betydelsen av fler start och stopp	43
Antalet starters inverkan på livslängden	44
En mindre kompressor arbetar med lägre kondensering och högre förångning som ger bättre SCOP	44
Den allra ”bästa” storleken	48
Slutsatser om bergvärmepumpstorlek	49
4. Radiatorer och andra värmeavgivare	53
Grundprinciper	53
Radiatorer som värmeavgivare	55
Golvvärme	58
Andra värmeavgivare	59
Inkoppling till värmepumpen	59

Injustering av systemet	61
Nu kan vi börja justera!.....	62
Vad gör man när det inte funkar.....	64
Inverkan av flöde i radiatorkrets	65
Drift med tillsatsvärme	67
5. Energibrunnen.....	73
Berg som värmekälla.....	73
Bergets egenskaper.....	74
Beskrivning av borrhålet.....	74
Aktivt borrhålsdjup.....	75
Värmeuttag och återladdning.....	76
Dimensionering av borrhål.....	79
Borrhålsdjup	81
Geografiskt läge.....	82
Bergart/jordart	82
Jordtäckning över berg	83
Kollektorn	83
Vilken strömningshastighet är lämplig i en kollektorslang?	87
6. Upphandling av bergvärmepump – större fastigheter.....	93
Förfrågningsunderlag - behövs konsult?	93
Vilka villkor skall gälla – ABT?	94
Vilka krav skall ställas?	94
Att tänka på vid en offertförfrågan.....	95
Generellt.....	95
Radiatorsystem och andra vattenburna system.....	95
Berg och jord.....	95
Kopplingsschema och styrning.....	96
Andra system som gränsar till värmepumpen	97
Ett förenklat kontraktsförslag:.....	98
Val av lämpliga offertgivare	102
Bedömning av lönsamhet	102
Förhandling inför beställning - incitamentsavtal?	102
Energibesparing och mätning – verifikation.....	102
7. Upphandling av bergvärmepump - småhus.....	107
Allmänna rekommendationer	107
Är huset nyligen inköpt?	107
Befintligt radiatorsystem.....	107
Husets framtid	107

Påverkan på klimat i pannrum	108
Tillstånd	108
Byte av huvudsäkring	109
Energibrunnens placering	109
Försäkringar	109
Rotavdrag	109
Skötselanvisningar	109
Service	109
Offert	109
Borrdjup	112
Borrning och slangläggning	113
Verifiera beställd funktion	113
8. Trimma ditt system	117
Enkla underhålls åtgärder	117
Observera larm	117
Rensa filter	117
Kolla synglasen	117
Kolla temperaturdifferenser	118
Ställ in radiatorsystemet för värmepump	118
Lite större åtgärder	118
Sänka framledningstemperaturen	118
Höja den inkommande köldbärartemperaturen?	120
Styra värmepumpen bättre	122
Bli av med spetsen	122



1. Så fungerar värmepumpen

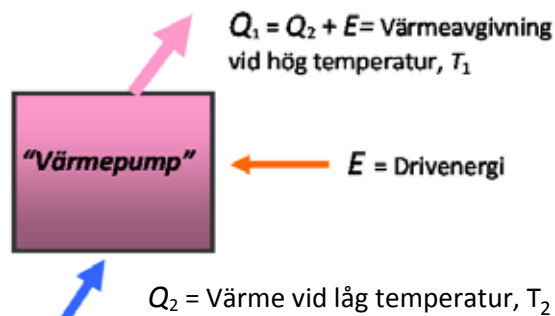
Eric Granryd

1. Så fungerar värmepumpen

Eric Granryd

Lite historia

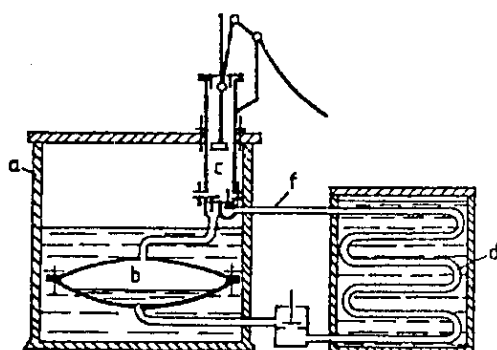
Tanken på att man skulle kunna ”pumpa värme” är inte ny. Den föddes omkring 1850. Professor William Thomson insåg att man skulle kunna utnyttja värmeenergi vid låg temperatur som med viss tillsats av drivenergi kunde transformeras till en högre temperaturnivå. Vid den temperaturen kunde energin t.ex. användas för att värma hus. I princip enligt följande figur...



Figur 1. Grundidén med en värmepump.

Idén var en direkt följd av att man då fått klarhet i vad vi i dag kallar för Termodynamikens Första och Andra huvudsatser. William Thomson var professor vid universitetet i Glasgow, blev senare (1892) adlad till Lord Kelvin, och det är efter honom som enheten för absoluta temperaturen fått sitt namn, Kelvin (K).

Redan dessförinnan hade engelsmannen *Jacob Perkins* redan år 1834 tagit patent på en process för att ”kyla eller frysa vätskor” – i själva verket patenterade han en ångkompressionscykel, som är just den som fortfarande används. (Han hade problem att välja köldmedium, liksom vi har än idag. Hans första val var eter, som fanns nära till hands men det fanns problem med det ämnet, som man lätt inser.)



- a) Behållare för vätska som ska kylas
- b) Förångare
- c) Kompressor
- d) Kondensor

I ledningen mellan d och b finns en ventil som styr vätskeflödet mellan kondensor och förångare

Figur 2. Jacob Perkins kylapparat från 1834.

Några begrepp och godhetstal

Innan vi går in i detalj på hur man kan realisera lord Kelvins idé kan det vara på sin plats att ta upp några allmänna begrepp och enkla samband från termodynamiken. Med en värmepump kan alltså lågvärdig värme ges en sådan temperatur att den kan användas för att värma t ex ett hus. Ett godhetstal som ofta används är värmefaktorn, ibland betecknad COP_1 (Coefficient of Performance). Den definieras som nyttiggjord värmeeffekt från värmepumpen, \dot{Q}_1 , dividerad med den driveffekt som fordras för processen, \dot{E}_k

$$\text{Värmefaktor } COP_1 = \dot{Q}_1 / \dot{E}_k$$

En energibalans ger att avgiven värme måste vara summan av tillförd värme (Q_2) vid låg temperatur (t_2) och tillfört arbete (E_k). Detta ger sambandet (som också visas Figur 1):

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{E}_k$$

Värmepumpens värmeupptagning i relation till den drivenergi som fordras ges av "köldfaktorn" COP_2 (efter engelskans Coefficient of Performance) som definieras:

$$\text{Köldfaktor } COP_2 = \dot{Q}_2 / \dot{E}_k$$

där Q_2 är värmeupptagningen, identisk med kyleffekten och E_k är driveffekten

Man inser att värmefaktorn och köldfaktorn hänger ihop (eftersom $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{E}_k$):

$$COP_1 = COP_2 + 1$$

Sambandet gäller dock bara under förutsättningen att all värmeavgivning från varma sidan kan nyttiggöras. (I verkligheten förloras ofta några % av kompressoreffekten genom värmeförluster från varma delar i värmepumpen som inte nyttiggörs i radiatorsystemet. Om den förlusten är 5 % blir alltså sambandet $COP_1 = COP_2 + 0,95$.)

Den teoretiskt högsta köldfaktorn som kan nås är helt beroende på temperaturerna. En ideal arbetscykel som arbetar mellan två temperaturer T_2 och T_1 beskrevs första gången av en fransk officer vid namn Sadi Carnot. Cykeln kan åskådliggöras som en rektangel i ett så kallat temperatur-entropidiagram som visas i Figur 3. Värme tillförs vid en låg temperatur, (a-b) och bortförs vid en högre temperatur (c-d). För att åstadkomma temperaturhöjningen fordras ett arbete. Det märkliga är att detta arbete idealt är direkt proportionellt mot temperaturlyftet. Köldfaktorn för en sådan ideal "Carnot-cykel" är:

$$COP_{2Carnot} = \frac{Q_2}{E_k} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

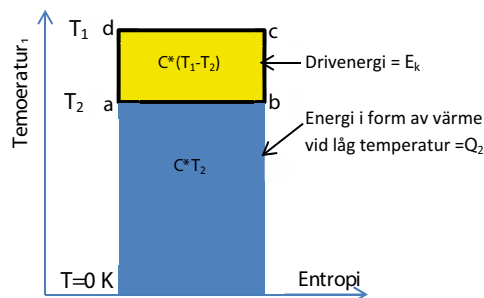
där T_2 är temperaturen där värme upptas mätt

i absolut temperaturskala,

Kelvin, K, ($T_2 = t_2(^{\circ}\text{C}) + 273,15$)

$(T_1 - T_2)$ = temperaturlyftet, skillnaden mellan temperaturerna där värme avges och upptas.

Sambandet är lätt att komma ihåg om man tar stöd av "staplarna" i Figur 3.

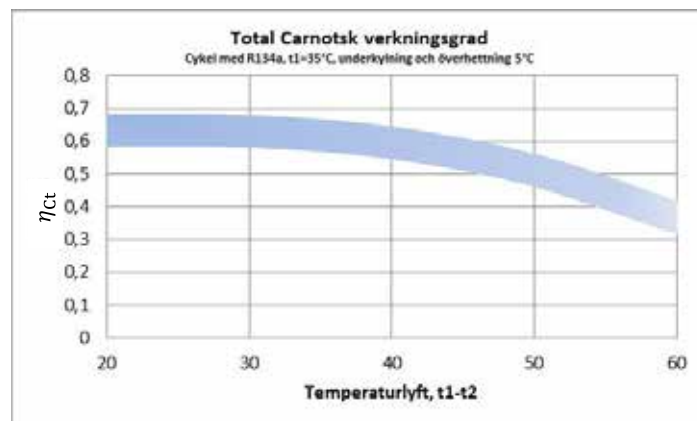


Figur 3 Energiutbyten vid Carnotcykeln

För att överslagsvis få en uppfattning om vilken köldfaktor som praktiskt kan uppnås kan man utnyttja en total "Carnotsk verkningsgrad", η_{Ct} . Den anger hur nära den ideala cykelns köldfaktor man når i verkligheten. Man kan då uppskatta köldfaktorn för en verklig cykel enligt sambandet:

$$COP_2 = \eta_{Ct} \cdot COP_{2Carnot} = \eta_{Ct} \cdot \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Figur 4 ger en uppfattning om storleksordningen av den Carnotska verkningsgraden med de arbetscykler och bra kompressorer som används i villavärmepumpar. (Lägg märke till att här finns inga hjälpapparater såsom pumpar eller fläktar medräknade, endast kompressorns effektbehov. Temperaturlyftet gäller för temperaturerna i själva cykeln)



Figur 4. Ungefärlig storlek för den totala Carnotska verkningsgraden för väl fungerande system.

Exempel: Antag att temperaturlyftet är 40°C. Enligt Figur 4 skulle vi då kunna vänta oss en total Carnotsk verkningsgrad för processen (arbetscykel med kompressor och elmotor) som motsvarar ca $\eta_{Ct} = 0,6$. Om värmepumpen hämtar värme vid en temperatur $t_2 = -5^\circ\text{C}$ (268 K) och all värme avges vid temperaturen $t_1 = +35^\circ\text{C}$ får vi:

$$COP_2 = 0,6 \cdot \frac{268}{35 - (-5)} = 4,02$$

vilket alltså motsvarar att värmefaktorn (om all värmeavgivning tillgodogörs) är

$$COP_1 = COP_2 + 1 = 5,02.$$

Eller i ord: Genom att offra 1 kW drivenergi får man ut 5 kW värme vid $+35^\circ\text{C}$ tack vare att man hämtat 4 kW från en värmekälla vid -5°C .

Observera hur viktigt det är att låta cykeln arbeta med litet temperaturlyft ($T_1 - T_2$). Om vi i exemplet hade avgett värme vid temperaturen 25°C (i stället för 35), dvs med temperaturlyftet 30°C skulle vi kunna fått $COP_2 = 0,6 \cdot 268/30 = 5,36$ och $COP_1 = 6,36$!

Hittills har vi inte tagit ställning till hur detta kan åstadkommas i praktiken. Sambanden gäller oavsett vilken process som man använder för att praktiskt realisera värmepumpningen, men det bör noteras att värden som ges i Figur 4 gäller för en väl fungerande arbetscykel av den typ som används i villavärmepumpar.

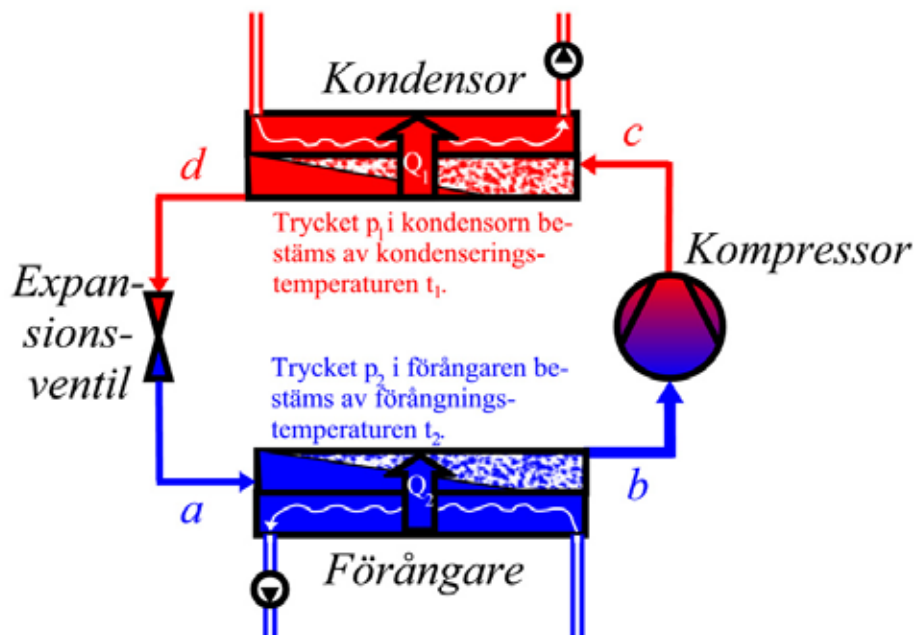
Olika arbetscykler

Ett antal olika cykler kan användas. Den allra mest vanliga cykeln bygger på att utnyttja en vätska som bringas att koka vid ett lågt tryck (vilket kräver värmeupptagning) respektive kondensera vid ett högre tryck (som förutsätter värmeavgivning), en ångkompressionscykel. I själva verket är det just den process som Perkins visade redan 1834!

Flera andra cykler har studerats och studeras fortfarande. Exempel på sådana andra möjligheter är Stirlingcykeln och Joulecykeln (omvänd gasturbincykel). I de två fallen är arbetsmediet i gasfas under hela cykeln. Det finns också exempel på helt andra typer av cykler; det finns elektriska alternativ (så kallade Peltier-element) och magnetiska processer. De senare två möjligheterna är beroende av utveckling av avancerade halvledarmaterial, resp. speciella magnetiska material och magneter för att åstadkomma starka magnetfält. Inom överskådlig tid har emellertid ångkompressionscykeln en ohotad ställning.

Den vanligaste arbetscykeln

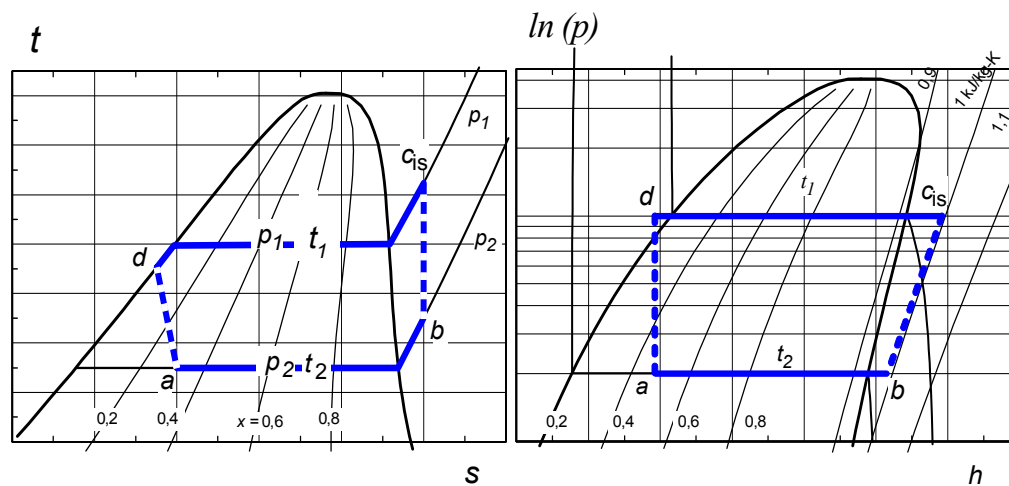
Den utan jämförelse mest använda arbetscykeln är således den så kallade förångnings-processen. Den visas schematiskt i Figur 5 som helt enkelt är ett annat sätt att visa Perkins cykel. Arbetsmediet i en ångkompressionscykel kallas i fackkretsar köldmedium. Mediet cirkulerar i ett slutet kretslopp och processen kan illustreras i olika tillståndsdigram för köldmediet, se Figur 6a och 6b.



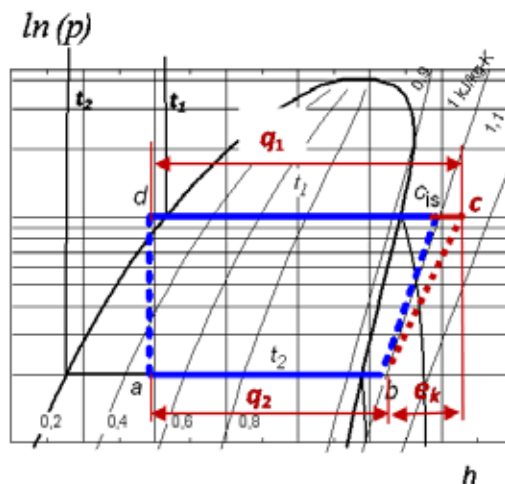
Figur 5. Principschema för den enkla ångkompressionscykeln. Köldmediets tillstånd i punkterna a, b, c och d finns angivna i diagrammen i Figur 6a och 6b.

Man kan med hjälp av h - $\log(p)$ -diagrammet (diagrammet till höger i Figur 6a) enkelt få en bild av energiutbyten i processen och detta visas i Figur 6b. Där har också ett mer verkligt utloppstillstånd från kompressorn markerats, punkten c. Skillnaden mellan c och c_{is} är ett mått på förlustarbetet i kompressorn (minskat med eventuell värmeförlust genom kylning).

I Figur 6b framgår värmetillförseln till förångaren i form av entalpiskillnaden mellan punkterna b och a (markerad q_2). Arbetet som tillförs via kompressorn svarar mot entalpiökningen från b till c (markerad e_k i figuren) och i kondensorn bortförs således summan av dessa, vilket i diagrammet svarar mot entalpiskillnaden c till d, markerad q_1 .



Figur 6a. Förångningscykeln representerad i två olika typer av tillståndsdigram för köldmediet. Diagrammet till vänster är ett s, T -diagram som visar entropin (s) på x-axeln och temperaturen (T) på y-axeln. En perfekt kompression utan värmeutbyte motsvarar här en vertikal linje ($b-c_{is}$). Till höger visas samma process i ett $h-\log(p)$ -diagram. På x-axeln finns här entalpin h , (som är ett mått på mediets "energiinnehåll") och på y-axeln trycket. Tillstånden före och efter strypventilen har samma entalpi och därför ligger i det diagrammet punkten "a" vertikalt under "d". På så sätt kan man bestämma tillståndet vid inloppet till förångaren.



Figur 6b. Ångkompressionscykeln i $h-\log(p)$ diagram. Energiutbyten i cykeln visas som sträckor.

Låt oss följa köldmediet då det passerar ett kretslopp i värmepumpen. Köldmediet tillförs förångaren i form av vätska (dock med viss mängd ånga som bildats i och med att den relativt varma vätskan efter kondensorn utsätts för en trycksänkning vid strypförloppet i expansionsventilen). Tillståndet är indikerat med punkt a i diagrammen i Figur 6a och 6b. Eftersom trycket är lågt kokar vätskan och tar upp värme som tillförs förångaren vid en låg temperatur. Värmetillförseln avspeglas som tillståndsförändringen a till b i Figur 6a och 6b. Ångan som bildas komprimeras till det högre tryck som råder i kondensorn. Trycket där bestäms helt av temperaturnivån i kondensorn, dvs. av hur kondensorn kyla.

Vid kompressionen ökar inte bara trycket utan också temperaturen. Hur stor den ökningen är beror till en del på hur effektiv kompressorn är. Om kompressionen vore helt ideal och genomfördes utan värmeutbyte med omgivningen skulle den ske med oförändrad entropi, dvs. isentropiskt ($b-c_{is}$). Tillståndet efter kompressorn skulle då ha samma entropi som vid inloppet, i Figur 6a och 6b markerat som c_{is} . Sluttemperaturen för det ideala fallet kan därmed avläsas i ett tillståndsdigram. I ett verkligt fall är temperaturen normalt högre än vad som svarar mot punkten c_{is} (angivet som punkt c i Figur 6b) – och detta beror på att man på grund av olika "friktionsprocesser" i kompressorn behövt tillföra gasen mer arbete än vad man skulle behövt idealt.

Från kompressorn leds gasen till kondensorn där värme avges och gasen kondenseras. Det vi är ute efter i en värmepump är just denna värmeavgivning som kan ske till t ex radiatorvattnet. Trycket i kondensorn bestäms i det fallet av temperaturen på radiatorvattnet samt av hur effektiv värmeövergången är. Av diagrammen kan vi se att temperaturen på gasen efter kompressorn är högre än kondenseringstemperaturen. Det ger möjligheten att ta ut en viss andel värme (ofta 70 till 80 % av kompressoreffekten) vid högre temperatur än kondensorns temperatur t_1 . I vissa värmepumpar utnyttjas detta för att generera (extra) varmt tappvarmvatten.

Det är fördelaktigt om vätskan som lämnar kondensorn har så låg temperatur som möjligt (helst ska den kylas till den lägsta temperatur som man kan nyttiggöra eftersom det ökar utbytet). Vätskan får då en viss underkylning som i diagrammen i Figur 6a och 6b syns genom att punkt d har lägre temperatur än t_1 . Underkylning kan alltså ge möjlighet att "gratis" få ut extra värme som dock har lägre temperatur än kondensortemperaturen.

Den i kondensorn bildade vätskan återförs till förångaren via en strypventil, ofta kallad expansionsventil. Denna kontrollerar flödet av köldmedievätska till förångaren. Detta kan ske med olika styrstrategier. Vid mindre anläggningar, som i en villavärmepump, används vanligen en så kallad termostatisk expansionsventil. En sådan är konstruerad att tillföra förångaren ett vätskeflöde som är just så stort att köldmediet får en viss (liten) överhettning³ vid utloppet ur förångaren (eller inloppet till kompressorn). Skälet till detta är att man vill undvika att vätskedroppar förs till kompressorn (oförångad vätska representerar ju en förlust i värmeupptagning i förångaren och dessutom kan vätska skada kompressorn). Eftersom överhettningen av ångan "kostar yta" i förångaren och därmed riskerar sänka förångningstemperaturen, eftersträvar man en så liten överhettning som möjligt. Detta är ett intrikat styrproblem vilket kompliceras ytterligare av att en alltför liten överhettning ofta ger upphov till pendlingar och instabil drift. Styrningen av expansionsventilen hänger intimt samman med komplicerade dynamiska förlopp vid kokningen i förångaren. Med väl fungerande kombination av förångare och expansionsventil kan man arbeta med en överhettning ner till ca 4 - 5 K. I själva verket ger överhettningen en gräns för hur liten temperaturdifferens förångaren kan arbeta med, och den får därmed ett stort inflytande på köld- och värmefaktor.

Det finns även olika metoder att låta förångaren arbeta med *ofullständig* förångning där man utnyttjar en intern värmeväxling (med den varma köldmedievätskan före expansionsventilen) för att säkerställa att ångan får tillräcklig överhettning så att den inte innehåller vätskedroppar före kompressorn. Även sådana lösningar innebär intrikata styrproblem för att få stabil drift.

³ Överhettningen är lika med gasens temperatur vid utloppet ur förångaren minus förångnings-temperaturen. Den ger alltså ett mått på hur mycket varmare ångan är jämfört med mättad vätska i förångaren.

Köldmedier och problem

Man använder ett identifieringssystem för köldmedier bestående av R (för Refrigerant) och en sifferkombination. Det skulle föra för långt att här gå igenom hur sifferkombinationen är uppbyggd.

Även om det finns många medier som kan användas visar det sig att urvalet är mycket begränsat, eftersom man vid sidan av bra termodynamiska egenskaper också önskar att medierna:

- Inte är giftiga
- Inte är korrosiva eller på annat sätt skadliga för omgivningen
- Inte påverkar miljön, lokalt eller globalt
- Inte är brännbara

En belgisk kemist vid namn Swartz hade redan på 1890-talet visat att man kunde ersätta väteatomerna i kolväte (av typ metan, CH_4) med atomer ur halogengruppen, dvs. klor, fluor, brom, så kallade halogensubstituerade kolväten, vad vi idag kallar CFC, HCFC och HFC-medier. Thomas Midgley, forskare på General Motors forskningsavdelning fick i slutet på 1920-talet i uppdrag att för Frigidaire (en division inom GM) försöka hitta alternativ till de tidigare använda köldmedierna som var brännbara eller giftiga. Han insåg att CFC-medier hade intressanta egenskaper. Flera av dessa visade sig vara inerta, mycket kemiskt stabila och vissa har kokpunkter som passar för kyltekniska tillämpningar. Midgley offentliggjorde sina resultat på en konferens 1930. Du Pont marknadsförde CFC- och senare HCFC-medier som "säkerhetsköldmedier". Det första (CCl_2F_2 , med en kokpunkt på $-29,8^\circ\text{C}$) fick varunamnet Freon12®⁴ (senare benämnt R12). Många av dessa ämnen tillfredsställde alla uppställda villkor – utom det näst sist nämnda, dvs. inverkan på *global* miljö.

Genom arbeten av Molina, Rowland och Crutzen, som först publicerades 1974 (de tilldelades Nobelpriset 1995) blev det klarlagt att CFC-medier medverkade till nedbrytning av ozonskiktet i stratosfären. Det problemet var man inte medveten om då ämnena introducerades.

Efter larmrapporter om det så kallade "ozonhålet" enades ett stort antal länder i det s.k. *Montrealprotokollet* 1987, om att i etapper minska användningen av CFC och senare även HCFC-köldmedier.

Det är kloratomen i CFC- och HCFC-medierna som orsakar ozonnedbrytningen och därför har de nu ersatts med olika klorfria föreningar s.k. HFC-medier eller blandningar av olika sådana ämnen. För byte av R12 introducerades HFC-mediet R134a ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$) på marknaden omkring 1989. I stationära anläggningar började man använda detta i början på 1990-talet. (Först i världen att använda R134a för luftkonditionering i bilar var SAAB i 1991 års modell.) R134a kokar vid normalt atmosfärstryk vid $-26,1^\circ\text{C}$.

De vanligaste HFC-föreningar som används som köldmedier i värmepumpar är just R134a samt blandningar av olika kemiska föreningar i samma familj av ämnen. Skälet till att man väljer att använda blandningar är att man därigenom kan anpassa mediets mättningsstryck vid olika temperaturer på önskat sätt. De HFC-blandningar som används i värmepumpar har beteckningarna R404A, R407C och R410A. Blandningar får emellertid i allmänhet den egenheten att kokningen kommer att ske vid "glidande temperatur", det mest lättflyktiga ämnet kokar först (samma sak händer om man värmer glögg – alkoholen avdunstar först). På liknande sätt sker kondensationen vid högre temperatur i början än i slutet av förloppet. Vid de blandningar som används är emellertid "gliden" bara några få grader C.

⁴DuPont introducerade således på 1930-talet och framåt flera CFC och HCFC-medier under varunamnet Freon. Det första och under en lång tid det allra vanligaste köldmediet var "Freon 12", senare benämnt R12. Det ämnet tillverkas med utgångspunkt från naturgas (metan, CH_4) där man ersatt de fyra väteatomerna med två klor- och två fluor- atomer (alltså CCl_2F_2). Den gruppen av ämnen kallas idag för CFC-medier. En annan grupp är HCFC-medier och det vanligaste exemplet är här R22 med samlingsformeln CHClF_2 . Jämfört med R12 finns här bara en kloratom och en väteatom finns kvar. Flera andra medier i samma familj introducerades.

Sedan början på 1990-talet har också intresset vuxit starkt för ”naturliga köldmedier”. Exempel här är *ammoniak* (R717) och *koldioxid* CO₂ (R744) samt olika *kolväten* som *propan* (R290) och *iso-butan*, (R600a), m.fl.

Intresset för naturliga medier har efterhand blivit än större genom att stor vikt nu läggs på att använda köldmedier som har *minimal inverkan på växthuseffekten* för det fall att de läcker ut till atmosfären. Mediets så kallade GWP (Global Warming Potential) anger vilken växthuseffekt ämnet har jämfört med inverkan av CO₂. Från 1 januari 2011⁵ kräver EU att AC-utrustningen i nyutvecklade bilmodeller (dvs. nya plattformar) använder köldmedier med en GWP-faktor < 150.

Det innebär att de flesta vanliga HFC-medierna inte kan användas. Ett nytt ämne med beteckningen HFO1234yf (tetrafluoropropen, CF₃-CF=CH₂, den kemiska samlingsformeln är därmed C₃ H₂F₄) fyller dessa krav och har redan börjat introduceras för bilar. (Även R152a med GWP strax under 150 skulle kvalificera sig. Det har samlingsformeln C₂H₄F₂ och tillhör således HFC-familjen. Det har utmärkta termodynamiska egenskaper, men problemet är att det under vissa förhållanden är brännbart.)

Kanske kommer HFO1234yf att användas i framtidens värmepumpar? Andra alternativ är som nämnts ”naturliga” arbetsmedier som ammoniak, propan eller koldioxid. För ammoniak och propan är *indirekta system* allt mer intressanta med hänsyn till giftighet och brännbarhet.

Koldioxid har vissa begränsningar med hänsyn till att temperaturen i kritiska punkten är låg, ca 31°C. Vid temperaturer över den kritiska punktens finns det inte längre någon skillnad mellan vätska och gas. Över den temperaturen kan således ingen kondensation äga rum. Värmeavgivningen vid en cykel med överkritiskt tryck och temperatur på varma sidan sker därför vid glidande temperatur. En sådan, s.k. transkritisk, cykel med koldioxid lämpar sig speciellt väl när man skall värma vatten från en låg inkommande temperatur till en hög utgående temperatur – t ex tappvarmvatten.

Trycken i kretsloppet i en värmepump beror på mättningsstrycket för köldmediet. Tabell 1 ger en uppfattning vilka tryck som olika köldmedier ger i förångare och kondensor för ett driftsfall med förångning vid -10°C och kondensering vid +40°C. Ju högre tryck man har i förångaren desto större kyleffekt får man om man har ett visst volymflöde in till kompressorn eftersom densiteten för gasen ökar med trycket. I tabellen finns också en kolumn med GWP (”Global Warming Potential”) vilket är ett mått på ämnets inverkan på växthuseffekten. Siffran anger hur många kg CO₂ ett kg av ämnet motsvarar om det finns i atmosfären (på 100 års horisont).

⁵ Beslutet har uppskjutits i omgångar och det är först från 2013 som det träder i kraft.

Tabell 1 Några köldmediedata

Tryck vid olika temperaturer⁶ i en ångkompressionscykel

	Förångning vid -10°C		Kondensering vid +40°C	GWP
HFC-medier:	R134a:	2,0 bar	10,2 bar	1430
	R404A:	4,4	18,3	3260
	R407C:	3,5	16,3	1530
	R410A:	5,7	24,1	1730
HFO-medium:	R1234yf	2,2	10,2	4
”Naturliga medier”:				
	Propan:	3,5	13,7	<20
	Isobutan:	1,1	5,3	<20
	Ammoniak:	2,9	15,6	<1
	Koldioxid:	26,5	över kritiska punkten	=1

Viktiga komponenter i en värmepump.

Vid sidan av köldmediet, som just diskuterats, är de viktigaste komponenterna i en värmepump *förångare, kondensor, expansionsventil* samt *kompressor med motor*. Effektiva och rätt dimensionerade *pumpar* (och eventuella fläktar) är givetvis även viktiga liksom en genomtänkt *styrutrustning*.

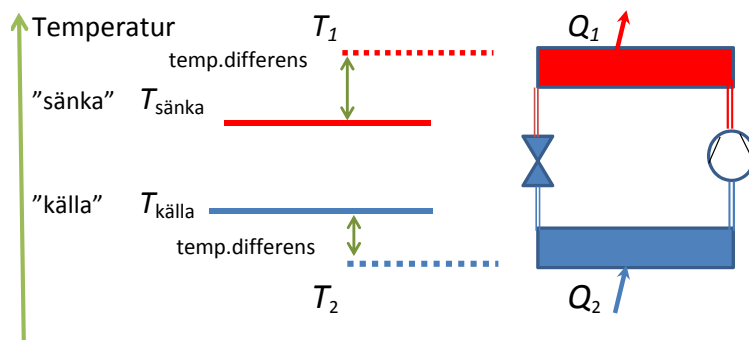
Värmeväxlare – förångare och kondensor

Värmepumpen hämtar energi i ”värmekällan” med syftet att tillföra den till ”värmesänkan” (dvs. i allmänhet rumsluften). Som illustreras i Figur 7 påverkas temperaturlyftet i själva värmepumpen ($t_1 - t_2$) mycket starkt av temperaturdifferenserna för värmeöverföring. Det handlar:

- dels om temperaturskillanden på kalla sidan mellan värmekälla och köldmedium i förångaren (som i vårt fall med en bergvärmepump utgörs av temperaturskillnaderna mellan berget och köldbäraren samt mellan köldbäraren och värmepumpens förångare)
- dels om temperaturskillnaden på varma sidan mellan kondensorn och värmesänkan (som i vårt fall utgörs av temperaturskillnaderna mellan värmepumpens kondensor och värmebäraren samt mellan värmebäraren och rumsluften).

För att kunna arbeta med litet temperaturlyft i cykeln (och därmed spara drivenergi) är det viktigt att ha effektiva värmeväxlare och väl fungerande cirkulationssystem för värmetransport så att de totala temperaturdifferenserna är så små som möjligt.

⁶ För blandningarna R404A, R407C och R410A är det medeltemperaturen i förångare och kondensor som avses.

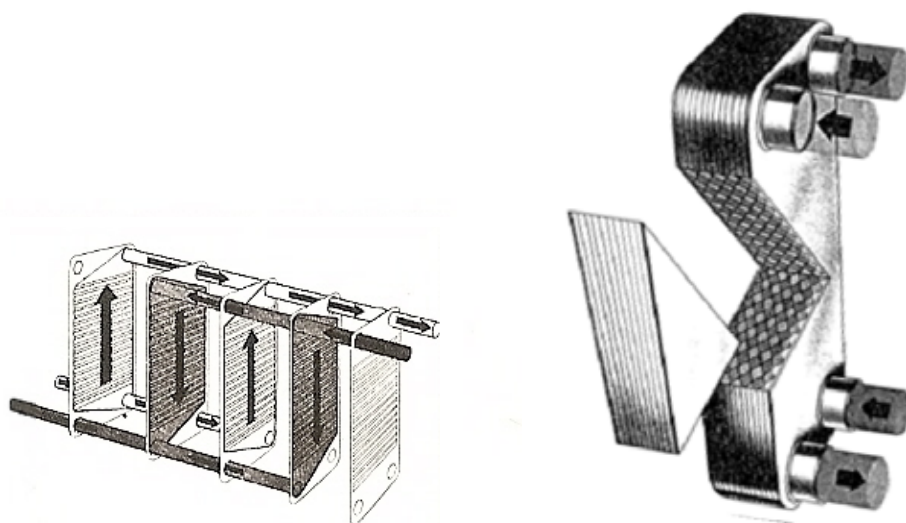


Figur 7. Temperaturdifferenser i ett värmepumpsystem har stor inverkan på värmefaktorn, COP1.

En intressant *utveckling av värmeväxlare* har ägt rum sedan sent 1970-tal. Resultatet av denna har gjort det möjligt att bygga villavärmepumpar med ytttermått i kylskåpsstandard. Intresset för kompakta värmeväxlare ledde senare, i slutet av 1980-talet, till att svenska lödda plattvärmeväxlare introducerades som förångare och kondensor i vätska-vatten-värmepumpar. Svenska företag var här först i världen och har idag skaffat sig en framträdande plats på världsmarknaden för plattvärmeväxlare.

Intressanta konstruktioner baserade på minikanaler (med kanaldimensioner under 1 mm med extruderade aluminiumprofiler) kommer troligen också att nå marknaden tack vare ny teknik att löda aluminium. Vid sidan av att man här kan få effektiv värmeövergång kan fyllnadsmängden av köldmedium minska drastiskt.

En illustration av en plattvärmeväxlare visas i Figur 8



Figur 8. Plattvärmeväxlare består av ett paket av speciellt konstruerade korrugerade plattor av rostfritt stål löds samman så att kanaler bildas för köldmedium och vätska varigenom man får en effektiv värmetransport mellan de två. Figuren till höger ett principschema med plattor för att visa strömningsvägar mellan plattorna; till höger en värmeväxlare med en utskuren del där man kan ana kanaler som bildas mellan plattorna (Bild från Alfa Laval).

Kompressorer

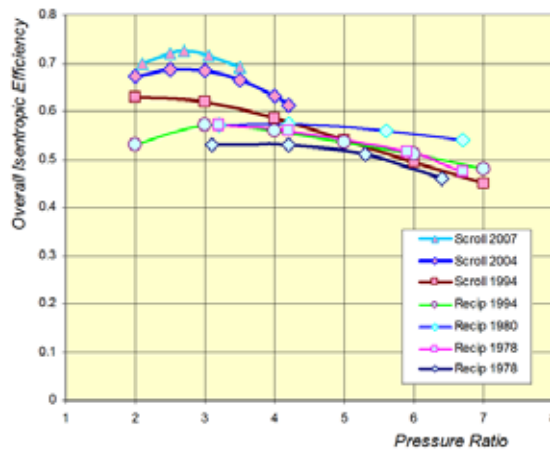
Kompressorn är en kritisk komponent i systemet – i princip är det den enda som innehåller rörliga delar i cykeln. Flera olika typer finns. Kolvkompressorer är fortfarande vanliga för villavärmepumpar men har sedan mitten/slutet på 1990-talet fått stark konkurrens av en nykomling; den s.k. scrollkompressorn. Den baseras på en gammal princip (de första patenten som beskriver en snarlikt konstruktion daterar sig till början av 1900-talet). I en scrollkompressor sker kompressionen av gas mellan två spiralformade kammar, se Figur 9.

Den ena spiralen är fast, den andra beskriver en oscillerande rörelse. Det är bara en liten rörelse som behövs för att volymer ska öppnas och stängas i utrymmena mellan spiralarmarna. I figuren kan man se olika volymer mellan spiralerna, två som just avstängts från inloppet vid periferin, två som är halvvägs in mot mitten samt en sista volym som står i förbindelse med utloppet i centrum. I konstruktionen behövs ingen inloppsventil och inte heller utloppsventil (men backventil brukar ändå införas bl.a. för att undvika att kompressorn ska rotera baklänges då motorn stoppas). Avsaknaden av ventiler innebär emellertid också att konstruktionen har ett ”inbyggt volymsförhållande” beroende på hur spiralarmarna är utformade. Detta inbyggda volymsförhållande avgör vid vilket tryckförhållande som kompressorn har bäst verkningsgrad och det bör alltså väljas så att det motsvarar det viktigaste driftsförhållandet.



Figur 9. I en Scrollkompressor sker kompressionen av gasen i de utrymmen som bildas mellan två spiralformade kammar. Bilden till vänster visar ett läge där gas har stängts in i de två yttersta månskårsformade utrymmena. Den grå spiralen är fast medan den bruna beskriver en oscillerande rörelse. Vid rörelsen minskar storleken av volymerna mellan spiralerna och den inneslutna gasen förs allt närmare mot mitten. I mitten finns en förbindelse till utloppet. Bilden till höger visar en uppskuren hermetisk scrollkompressor med vertikal axel. I den övre delen kan man se spiralerna i ett snitt från sidan och i den undre delen av figuren syns elmotorn.

Verkningsgraden för kompressorer har förbättrats efterhand. Figur 10 illustrerar detta, även om det är ett delvis slumpartat urval av data som registrerats i olika sammanhang (i första hand på laboratoriet på KTH-Tillämpad termodynamik och kylteknik). Som framgår har verkningsgraden för kompressor + elmotor ökat från drygt 50 % i slutet på 1970-talet till drygt 70 % 30 år senare. Det speglar till stor del ökade krav på kompressortillverkare från deras kunder – energisparande var inte så prioriterat under 1960-1970-talen; investeringskostnaden styrde då till stor del utbudet.



Figur 10. Exempel på hur verkningsgraden för hermetiska kompressorer utvecklats över ett antal år. Data gäller för kompressorer inklusive elmotor. En hermetisk kompressor har elmotorn inbyggd tillsammans med kompressorn inom ett hölje varigenom axeltätning undviks. ("Recip" betyder kolvkompessor, "Pressure ratio" betyder förhållandet mellan utloppstryck och inloppstryck.)

Förutsättningar för att spara energi

För att spara drivenergi och få bra COP är det viktigt att se till att "temperaturlyftet" är så litet som möjligt. Drivenergibehovet för en given kyleffekt, och därmed COP, är grovt räknat proportionellt mot skillnaden mellan varma och kalla sidans temperaturer, $T_1 - T_2$ vilket tidigare visats.

Med hänsyn till COP är det alltså viktigt att utnyttja systemlösningar som ger

- hög temperatur på kalla sidan
- låg temperatur på varma sidan.

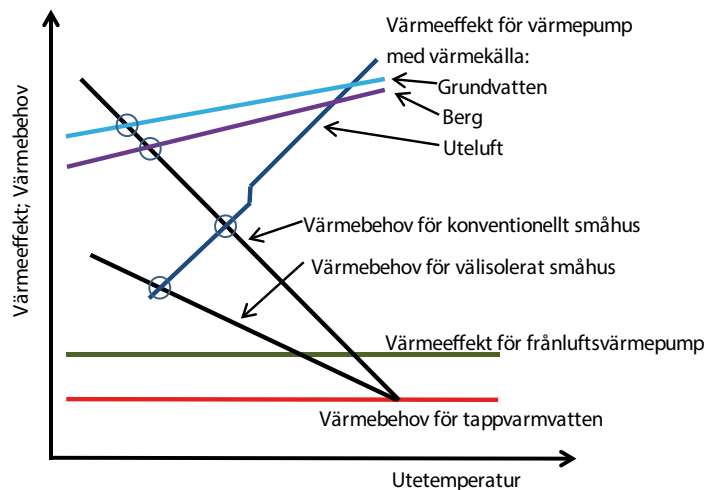
Kalla sidans temperatur påverkar också kyleffekten vid en given anläggning, en grov tumregel kan vara att om förångningstemperaturen ökar 1°C ökar kyleffekten med ca 4-5 % och värmefaktorn med 2-3 %. Värmekällor som ger möjlighet att hämta värme vid hög temperatur är fördelaktiga av båda dessa skäl.

Varma sidans temperatur i en värmepump avgörs av hur kondensorn kyls. Om den är kopplad till ett radiatorsystem är det temperaturen i detta som avgör. Det är alltså mycket fördelaktigt att använda så låg temperatur som möjligt i radiatorkretsen, vilket möjliggörs om man har stora radiatorer. Det mest fördelaktiga systemet är här golvvärmesystem. Sådana frågor behandlas mer detaljerat i Kapitel 4.

Värmekällor

Som nämnts påverkas kyleffekten vid en anläggning av förångningstemperaturen. En lägre temperatur ger lägre kyleffekt och därmed påverkas också värmeeffekten vid en värmepump. Detta påverkar hur effektprofilen ser ut vid olika värmekällor, vilket illustreras schematiskt i Figur 11. Här har förutsatts att kompressorn arbetar med oförändrad slagvolym oavsett behovet. Med förbättrade möjligheter till kapacitetsreglering, tex genom varvtalsstyrning, kan man i viss utsträckning öka kapaciteten vid låga utetemperaturer liksom minska överkapaciteten då det är varmare ute. Detta påverkar med andra ord kapacitetsprofilen för värmepumpar.

Utluft är egentligen en bra värmekälla, men har nackdelen att just då värmebehovet är som störst är också värmeeffekten som lägst. Det ger en ofördelaktig effektprofil som inte passar särskilt bra till behovet.



Figur 11. Schematisk karakteristik för värmepumpar med olika typer av värmekällor. Ringarna markerar balans mellan tillgänglig effekt och behov och illustrerar "balanstemperaturen". Vid lägre utetemperatur än denna behövs någon form av värmetillsats.

De på marknaden vanligaste värmekällorna har ändrats över åren. Under "pionjärtiden" omkring 1980 var *ytjordvärme* för villor vanligast. För hus som har tillgång till mark, till exempel på landsbygden, är den fortfarande mycket konkurrenskraftig som värmekälla.

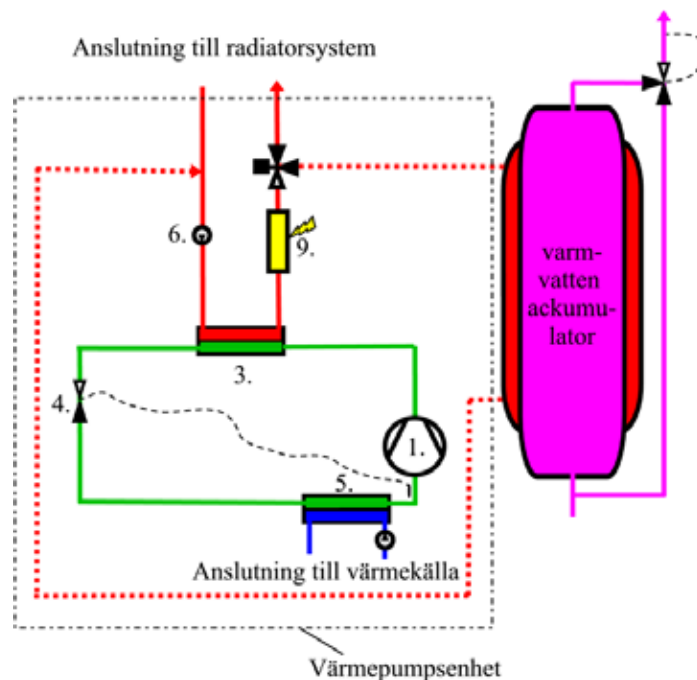
En stark utveckling har ägt rum vad gäller andra värmekällor, särskilt för bergvärme. Efterhand som borrhälsboringen har effektiviserats och medger billigare *borrhål i berg* har detta blivit den vanligaste värmekällan, i varje fall i tätorter. Idag borrar man ett 200 m djupt hål under en arbetsdag. Åtskillig omsorg läggs också ner på att förbättra värmeövergången mellan berg och köldbärare. Mark- och bergvärme-system ger också möjlighet att, energimässigt gratis, åstadkomma kylning för t ex luftkonditionering genom att utnyttja värmeväxling till vätskekretsen i berget. Detta ger i sin tur också en fördel genom att berget återladdas, vilket ger bättre prestanda för värmepumpen följande säsong.

För att täcka husets värmebehov då det är riktigt kallt ute, vid tillfällen då värmebehovet är större än värmepumpens effekt, fordras någon form av tillsatsvärmekälla. Hur stor tillsats som behövs beror på hur värmepumpen dimensioneras. Man kan ana hur stort effektbehovet för tillsatsen är i Figur 11. Det kan vara en avsevärd andel av *effekt*behovet den kallaste dagen, särskilt med uteluftvärmepumpar. När det gäller *energi*behovet är dock inte tillsatsenergin så dominerande. Med berg som värmekälla är tillsatsbehovet i allmänhet bara någon procent av årsenergibehovet.

Med avancerad varvtalsstyrning av kompressorn kan behovet av tillsatsvärme minskas avsevärt. För fallet med berg som värmekälla kan man genom att övervarva kompressorn eliminera behovet av tillsats. (En annan fråga är om det är ekonomiskt fördelaktigt, eftersom styrutrustningen inte är gratis. Dessutom är varvtalsstyrningen i sig inte förlustfri)

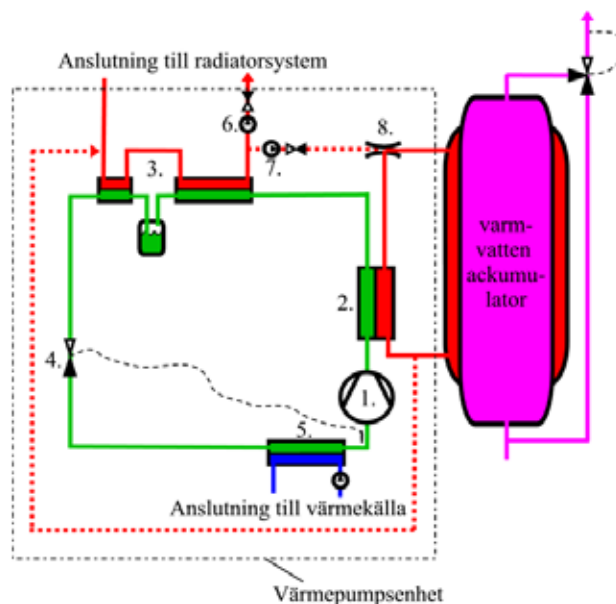
Varmvattenvärmning

Med allt bättre isolerade hus blir energibehovet för varmvattenvärmning en allt större andel av det totala behovet. För att värma tappvarmvatten är den enklaste inkopplingen den som visas i Figur 12a. Strömningen på värmepumpens varma sida kopplas om så att värmning av varmvattenackumulatören startas om temperaturen i behållaren är lägre än ett inställt minimivärde genom att växelventilen i utgående ledning från kondensorn kastar om strömningsriktningen. Värmningen av ackumulatören fortsätter tills temperaturen nått ett önskat värde, varefter växelventilen återgår och dirigerar om flödet i kondensorkretsen så att värmningen av radiatorvattnet återupptas.



Figur 12a. Enkel koppling för varmvattenvärmning. Med en växelventil omdirigeras flödet genom kondensorn så att varmvatten alternativt radiatorvatten värms. 1. Kompressor, 3. Kondensor, 4. Expansionsventil, 5. Förångare, 6. Radiatorpump, 9. Tillsatsvärmare.

I den vanliga värmepumpcykeln finns möjlighet att utnyttja den höga temperaturen på gasen efter kompressionen genom att införa en "hetgasvärmväxlare" som ger värme till varmvattnet. På så sätt kan man värma varmvatten parallellt med att man värmer vatten i en radiatorkrets vid lägre temperatur, ett exempel ges i Figur 12b. En hetgasvärmväxlare kan ge 15 – 25 % av hela värmeeffekten (dock allt mindre andel ju högre värmefaktor värmepumpen har). Om värmebehovet för lokalvärmning är litet räcker uppenbarligen inte effekten i hetgasvärmväxlaren till all varmvattenvärmning.

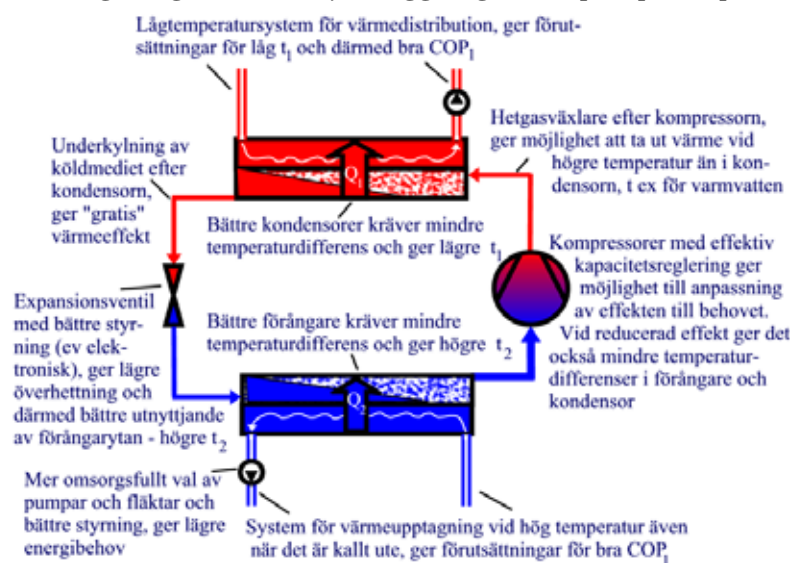


Figur 12b. Exempel på principschema för en villavärmepump för värmning av radiatorvatten och varmvatten. 1 Kompressor. 2 Hetgasvärmväxlare som värmer varmvatten (här genom egenkonvektion). 3 Kondensor med inbyggd underkylare. 4 Expansionsventil. 5 Förångare. 6 Radiatorpump. 7 Pump för värmning av varmvatten (för tillfällen när hetgasvärmen inte räckt till). 8 Ejektor för att upprätthålla strömning genom hetgasväxlaren vid varmvattenvärmning. (Pumparna 6 och 7 ersätter här växelventilen som visades i Figur 12a.)

För att värma vatten är det (termodynamiskt) fördelaktigt om det kan ske vid glidande temperatur så att onödigt temperaturlyft i värmepumpscykeln undviks. Med CO₂ som köldmedium blir arbetscykeln i allmänhet transkritisk (kritiska temperaturen för CO₂ är ju så låg som 31°C). På värmepumpens varma sida kommer arbetsmediet att vara överkritiskt - ingen skillnad finns mellan gas och vätska. Därför kommer ingen kondensation att ske och kondensorn i en konventionell värmepump ersätts här med en gaskylare. Med en sådan cykel kan man få en bra anpassning till behovet vid värmning av vatten över ett stort temperaturspann⁷. Med en transkritisk cykel kan trycket i gaskylaren (som alltså tar kondensorns plats) väljas relativt fritt. Optimalt tryck (för bästa COP) är här i storleksordningen 100 bar. Cykeln är mycket fördelaktig för att värma vatten över ett stort temperaturspann, t ex från 10 till 90°C i ett steg. Den är däremot *inte alls* lämpad för att upprätthålla en hög temperatur i ett varmt förråd (där ju temperaturspannet är litet).

Hur kan värmepumpar förbättras?

Följande figur illustrerar några åtgärder i en kylanläggning/värmepump som påverkar prestanda.



Figur 13. Generella åtgärder för att förbättra prestanda för en värmepump.

En genomgång av provresultat för villavärmepumpar visar att värmefaktorn har förbättrats med i genomsnitt ca 1,5 % per år de senaste 30 åren. En villavärmepump av år 1980 hade nog en årsvärmefaktor, SCOP, av säg 2,5. En bra installation av idag (2012) kan förväntas ge ett SCOP ca 4 (vilket exakt motsvarar 1,5 % förbättring/år sedan 1980). Energimyndigheten har nyligen låtit genomföra laboratorieprov av olika värmepumpar och med ledning av resultaten kan man beräkna en årsvärmefaktor SCOP = 4,9 för den bästa bergvärmepumpen i ett golvvärmesystem, dvs. ännu ett steg bättre.

⁷ Det kan vara på sin plats att nämna att man även med en "konventionell" arbetscykel kan nå likande fördelar som vid den transkritiska cykeln genom att använda en "batch-vis" värmning av vattnet. Principen bakom den idén är att kallt (tapp-)varmvatten i en behållare värms kontinuerligt från den låga inloppstemperaturen till önskad hög sluttemperatur. Under detta förlopp är alltså kondenseringstemperaturen mycket låg då uppvärmningen börjar för att stiga efterhand som vattnet värms. Det finns veterligen ingen kommersiellt tillgänglig villavärmepump som arbetar enligt den principen. Däremot torde det vara enkelt att inkorporera vid värmepumpar för fastigheter där man ofta har flera ackumulatortankar för varmvatten.

Utveckling i många steg

Allmänt sett har utvecklingen skett i många, ofta små steg och på olika plan:

Miljöhänsyn

- Nya köldmedier har introducerats. De medier som används idag har ingen inverkan på ozonskiktet, men fortfarande använder nästan alla värmepumpar köldmedier som är kraftfulla växthusgaser. Köldmediesystemen i dagens värmepumpar är dock i allmänhet "hermetiska" och man har strikt tillverkningskontroll på fabrik vilket ger liten läckagerisk. Medvetenhet om miljöfrågor hos installatörer är idag mycket större än tidigare. Värmepumpsystem av idag har avsevärt mindre fyllnadsmängd av köldmedium än för 30 år sedan. Sannolikt kommer en större andel av värmepumparna i framtiden att använda naturliga köldmedier, som propan och koldioxid, eller syntetiska medier med låg GWP, som HFO1234yf.

Energibesparing

- Värmeväxlare är nyckelkomponenter – det är viktigt att arbeta med små temperaturdifferenser i förångare och kondensor! Värmeväxlare har blivit mer kompakta och samtidigt effektivare
- Kompressorer och elmotorer har utvecklats och har betydligt bättre verkningsgrad idag än tidigare – ger mindre energibehov.
- Mindre temperaturdifferenser i värmekällor och värmedistributionssystem medför att själva värmepumpen kan arbeta med mindre temperaturlyft.
- Mer avancerad styrutrustning. Genom bl.a. datorisering har man idag bättre möjligheter att styra driften av hela systemet på ett mer intelligent sätt för att spara energi.
- Möjlighet till varvtalsstyrning av kompressorer kan spara energi genom att effekten anpassas till behovet i olika driftsfall vilket ger systemfördelar i form av lägre temperaturlyft i köldmediecykeln. Det ger också möjlighet att slippa tillsatsvärme och därmed bättre total värmefaktor.
- Energibehov för hjälpapparater har reducerats genom bättre systemuppbyggnad och med väl vald storlek på pumpar och fläktar vilka vidare utvecklats för avsevärt bättre verkningsgrad
- Kompetensen hos installatörer har höjts väsentligt. Det medverkar till att installationer och system blir mer genomtänkta och det är viktigt med hänsyn till energibehov såväl som driftssäkerhet.



2. Bergvärmepumpar och ekonomi

Eric Granryd och Jan-Erik Nowacki

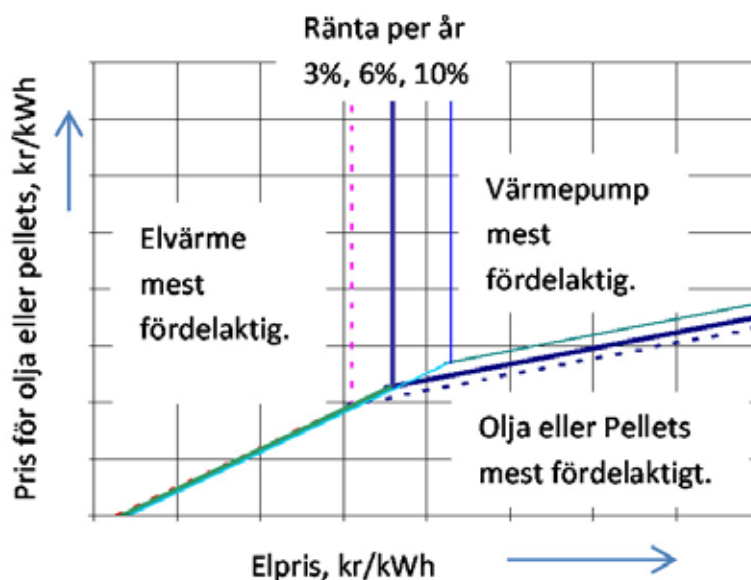
2. Bergvärmepumpar och ekonomi

Eric Granryd och Jan-Erik Nowacki

Allmänt om kostnader för värme i bostäder

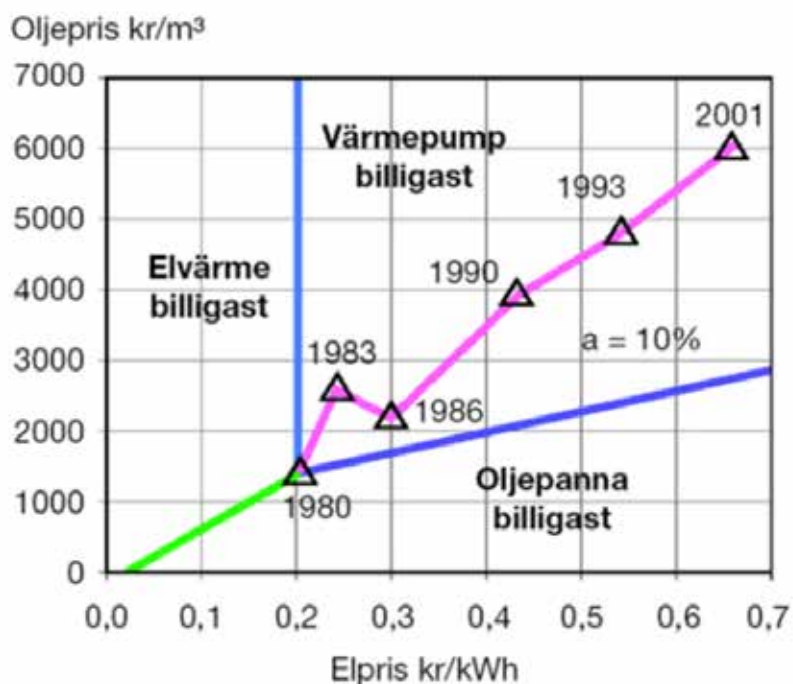
Det finns flera sätt att värma en bostad och de utnyttjar olika energislag. Klassiska bränslen är ved, pellets och olja men många bostäder har värmesystem baserade på el. För att göra en ekonomisk jämförelse måste man vid sidan av energikostnaden också ta hänsyn till investeringen för värmeanläggningen. En värmepumpinstallation kräver i allmänhet större investering än de flesta alternativen. Lägst förstakostnad för brukaren har elvärme och många hus har en befintlig oljepanna. En värmepump måste betala den extra investering som krävs genom lägre driftskostnader.

Om priset på el är lågt är det för brukaren fördelaktigt att använda elvärme. Å andra sidan är det fördelaktigt att värma med den gamla oljepannan om oljepriset är lågt. Om däremot både el- och oljepris är förhållandevis höga har värmepumpar en möjlighet att konkurrera framgångsrikt. Generellt sett gynnas värmepumpen av höjda priser på energi eftersom den till stor del utnyttjar omgivningsvärme som är gratis. Det sagda illustreras i Figur 14.



Figur 14. Prisförhållanden för el och olja samt ränta på kapitalet påverkar val av värmesystem.

Ett mer konkret exempel visas i Figur 15 som illustrerar resultatet av en praktisk jämförelse enligt Figur 14 som gjordes omkring 1980. Med de investeringskostnader och energipriser som då gällde gav de olika alternativen samma årskostnad år 1980. Inlagt i figuren visas hur energipriserna har ändrats sedan dess. Den som gjorde investeringen i en värmepump då gjorde uppenbarligen en mycket god affär – energipriserna har hela tiden rört sig allt djupare in i det område som ökat lönsamheten för värmepumpen.

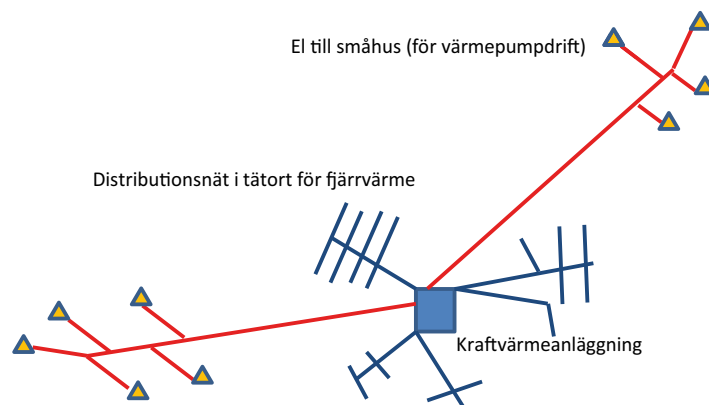


Figur 15. Höjda energipriser gynnar värmepumpar eftersom de hämtar gratisvärme från omgivningen. Figuren baserades på en verklig installation 1980 och med de priser och värmepumpprestanda som då gällde.

Ofta ställs också fjärrvärme i motsatsställning till värmepumpar. Man kan emellertid se det alldeles tvärtom. Fjärrvärmenätet ska naturligtvis kombineras med el-kraftproduktion vilket ger ett unikt sätt att utnyttja bränslet mer effektivt. Fjärrvärmenätet tillgodoser lämpligen hus i tätorter med värme. Den el som produceras i kraftvärmeverket kan med fördel användas för att driva värmepumpar i tätortens yttre områden vilket illustreras i Figur 16. Man kan på så sätt starkt förbättra energiutnyttjandet:

Låt oss anta att kraftvärmeanläggningen utnyttjar bränslets värmeinnehåll så att man får 40 % el⁸ till nätet och 50 % värme som levereras till fjärrvärmenätet. Om el-produktionen utnyttjas för att driva värmepumpar med en värmefaktor = 3 får vi av 1 kWh värmeinnehåll i bränsle en utväxling till $0,40 \cdot 3 + 0,50 = 1,70$ kWh värme i bostäder. Systemet får en "verkningsgrad" på 170 %!

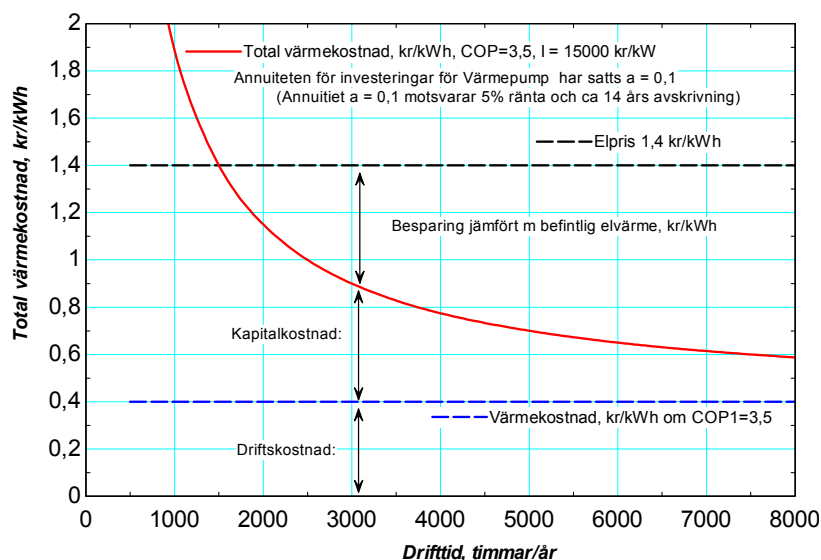
⁸ Idag är bara el-verkningsgraden cirka 23 % men kan förbättras avsevärt.



Figur 16. Fjärrvärmesystem kombineras lämpligen med elgenerering. För att värma hus utanför tätorten används eldrivna värmepumpar.

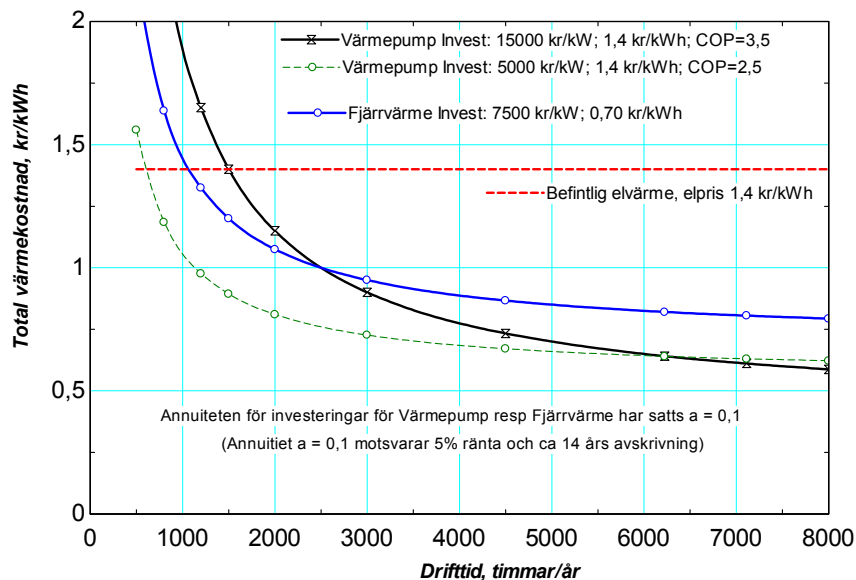
Kostnadsjämförelser

Jämfört med befintlig elvärme (eller befintlig oljepanna) fordrar som nämnts installation av en värmepump en större investering. Tack vare att driftskostnaden sänks kan investeringen finansieras och den totala kostnaden för att hålla huset varmt kan minskas. Det sagda illustreras i Figur 17 där priset för värmepumpinstallationen uttrycks i kr/kW. I figuren har priset för värmepumpen antagits vara 15000 kr/kW. Avskrivningstid har satts till 14 år och räntenivån 5 %/år vilket ger en annuitet på ca 10 %/år. Elpriset har satts till 1,4 kr/kWh. Totalkostnaden för värmepumpen vid olika drifttider per år ges därmed av den röda kurvan i figuren. Förutsatt att värmepumpens drifttid är över ca 1500 timmar per år kommer man i det här fallet att få en besparing jämfört med elvärme. Vilken drifttid som en värmepump får i en installation beror på värmepumpens storlek och husets behov. Detta finns närmare belyst i Kapitel 3.



Figur 17. Illustration av olika kostnadsposter för värme.

På liknande sätt visas i Figur 18 den totala värmekostnaden för elvärme, värmepump och fjärrvärme. Med de antagna förutsättningarna som ges i figuren fordras en drifttid på ca 2500 timmar/år för att en värmepump ska ge lägre total årskostnad än fjärrvärmealternativet. För värmepumpen har samma pris och värmefaktor antagits som i förra figuren. I diagrammet har också införts utfallet om man tänker sig en billig värmepump som kostar 5000 kr/kW (inkl. installation) men som bara ger en total årsvärmefaktor på ca 2,5.



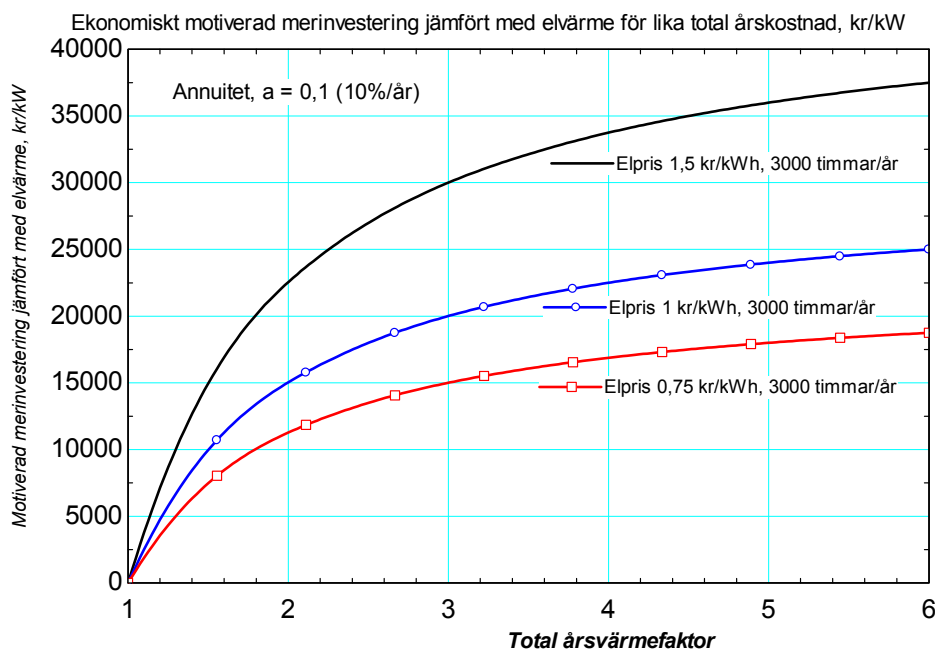
Figur 18. Total värmekostnad för olika uppvärmningsalternativ.

Ju bättre värmepump desto högre pris är det motiverat att betala för den. Med "bättre värmepump" menas här en som ger högre värmefaktor. En mer avancerad värmepump kan förväntas kosta mer att installera, och kan också bära en sådan investering. En illustration till hur mycket högre pris som det är motiverat att betala för ökad årsvärmefaktor ges i Figur 19. Här har annuiteten (dvs. kapitalkostnaden för avskrivning och ränta) satts till 10 %/år och drifttiden till 3000 timmar/år. Kurvor ges för några olika elpriser. Utfallet ges som funktion av värmefaktorn (COP1) för anläggningen.

Med ett elpris på 1,5 kr/kWh är det enligt figuren motiverat att betala drygt 37000 kr/kW för ett värmepumpsystem som kunde ge värmefaktor 6 jämfört med ett elvärmesystem! För en värmepump med COP1 = 5 kunde man kosta på sig att betala ca 36000 kr/kW.

Som synes har både COP1 och elpris en stark inverkan. Det är intressant att notera att nyttan med hög värmefaktor avtar ju högre värmefaktorn är. Låt oss förutsätta att elpriset är 1,5 kr/kWh och drifttiden 3000 timmar/år och att annuiteten är 10 %/år. Motiverat merpris för en värmepump som ger värmefaktor 4,5 i stället för 3 är då ungefär 5000 kr/kW (skillnaden mellan 35000 och 30000 kr/kWh i figuren). Motsvarande motiverat merpris för att öka värmefaktorn 4,5 till 6 är knappt 2500 kr/kW.

Det sagda påvisar också svårigheten när det gäller att utveckla avancerade lösningar – ju mer effektivt värmepumpsystemet är desto mindre prisökningar kan man motivera för en ytterligare förbättring...



Figur 19. Exempel på motiverad merinvestering för värmepump vid olika elpriser som funktion av årsvärmefaktorn för att få samma totala årskostnad som elvärme. Annuiteten har antagits till 10 %/år och drifttiden med full last 3000 timmar/år

Olika metoder för ekonomiska jämförelser

De jämförelser som visats här ovan är baserade på en total årskostnad för brukaren, dvs. kostnaden för ränta, amortering, underhåll och drift. Jämförelser där man använder den totala årskostnaden ger samma utfall som andra alternativa metoder för utvärdering med begrepp som "Nu-värde" och i stort sett samma som Livscykelkostnad.

Ibland används i stället "Avbetalningstid", "Återbetalningstid" eller "Payback-tid" för jämförelser. Avbetalningstiden anger helt enkelt hur lång tid det tar innan man tack vare besparingar i driftkostnader fått tillbaka investerade pengar. Den anger med andra ord kvoten Investering/Årlig Besparing.

Det är naturligtvis lätt att satsa på en investering med kort återbetalningstid som alltså ger en avkastning som svarar mot att man får pengarna tillbaka på några få år. Avbetalningstiden tar emellertid inte hänsyn till räntenivå eller avskrivningstid eller underhåll. Man kan med det begreppet lätt förledas att satsa på en enkel lösning som snabbt ger pengarna tillbaka men som i det långa loppet inte visar sig vara den mest lönsamma eller ekonomiskt smarta.

Ekonomi med andra energisparåtgärder

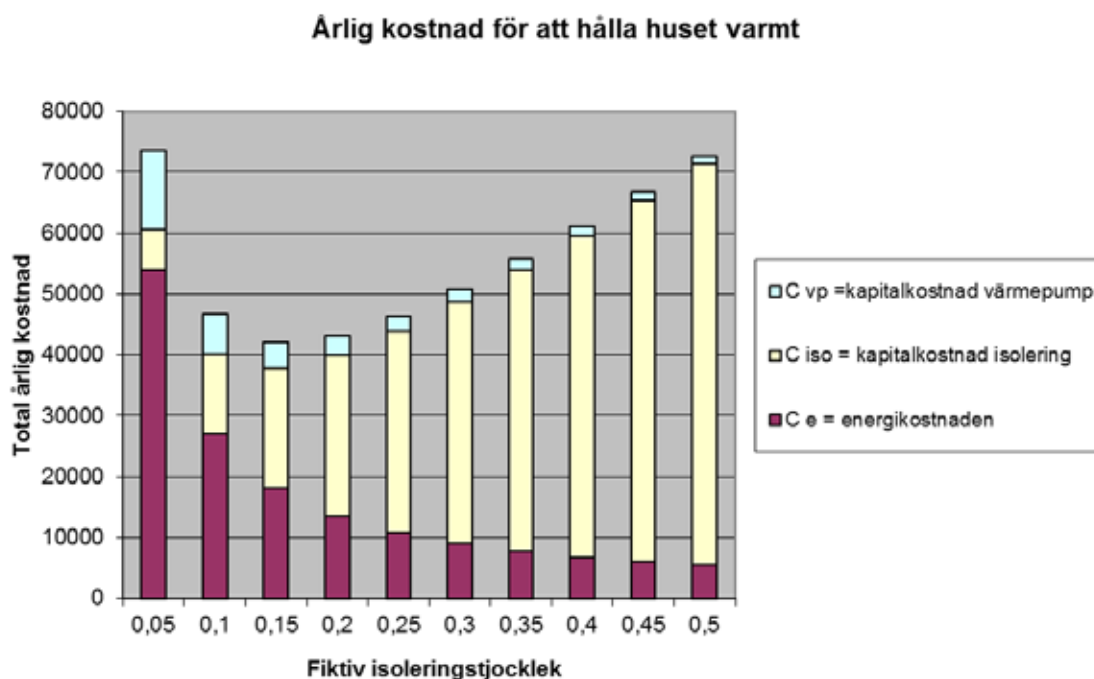
Vanligast är att man vill åstadkomma största möjliga energikostnadsbesparing per investerad krona. Då bör investeringarna fördelas mellan isolering, ventilation, värmekälla i huset och anskaffande av energi på ett visst sätt. Om målet istället är att t ex begränsa koldioxidutsläppen maximalt, skall man investera på ett annorlunda sätt. Uppfattningarna om hur mycket koldioxid som släpps ut om man använder ett visst energislag, varierar också. Det är t.o.m. svårare att säga någonting lika generellt om koldioxidminimeringen som om kostnadsminimeringen.

Naturligtvis bör man vidta lönsamma isoleringsåtgärder i samband med installationen av värmepump. En del åtgärder kanske inte ens behöver vara energiekonomiskt lönsamma. Om t ex fönstren ändå måste bytas eller fasaden ändå måste renoveras kan marginalkostnaden för att skaffa bättre isolerade och tätare fönster eller att lägga tilläggisolering under den nya fasaden vara motiverad. Det gäller även om totalkostnaden för alla åtgärder enbart ur energisynpunkt är svårmotiverade.

Ibland uppkommer frågan i vilken ordning man skall vidta olika besparingsåtgärder. En del kan ha väldigt kort återbetalningstid, andra kan vara väldigt lönsamma på längre sikt. Sen kan det tyckas vara så att om man först vidtar de kortsiktigt lönsamma investeringarna, rycks lönsamheten bort för de långsiktigt lönsamma investeringarna. Exempel: Att täta dörrar och fönster sparar 10 % av energin och har en återbetalningstid på tre år. Att skaffa en värmepump sparar 70 % av energin och har en återbetalningstid på sex år. Om man tätar först, kanske det känns som lönsamheten blir så låg för värmepumpen att man tvekar att installera den. Om man å andra sidan skaffar värmepumpen först blir värmeenergin tre gånger billigare och tätningen blir då inte lika lönsam. Men naturligtvis bör man tänka på och vidta både isoleringsåtgärder och värmepumpsåtgärder samtidigt. Det bör ske på ett sådant sätt att man får största möjliga nytta av varje investerad krona.

Det finns också en "matematiskt lagom" avvägning mellan "isoleringsåtgärder" och "värmepumpsåtgärder". I denna avvägning skall naturligtvis också tas in att värmepumpen kan göras mindre om huset isoleras bättre. Figur 20 visar en mycket principiell fördelning mellan kapitalkostnaderna för värmepump och isolering samt energikostnaden. Den fiktiva isoleringen skall på ett förenklat sätt ta hänsyn till vindsisolering, väggisolering, fönster och ventilation samtidigt. Grovt sett motsvarar den fiktiva isoleringen isoleringstjockleken i väggarna när alla andra isoleringar är lika ekonomiskt motiverade. Tjocka väggar motsvaras ju av ännu tjockare vindsisolering och kanske fyrglasfönster för att isoleringsåtgärderna skall bli "jämnstarka".

Det minimum som finns i figuren för totalkostnaden vid en fiktiv isoleringstjocklek på mellan 0,15 och 0,2 m återspeglar vissa enkla antaganden om värmepumpkostnad, isoleringskostnad ränta och energipris. Vid ett högre antaget energipris flyttas minimum till höger så att isoleringen blir tjockare och värmepumpen mindre.



Figur 20. Årlig kostnad för att hålla huset varmt. Den totala årliga kostnaden är summan av kapitalkostnader för isolering och värmepump samt energikostnad.

Generellt kan sägas att tilläggsisolering av vindsbjälkslag ofta är en lönsam åtgärd. Att isolera väggarna inåt så att bostadsyta försvinner är däremot oftast inte lönsamt (om man värderar ytan). Att isolera väggarna utåt blir lönsamt om den nuvarande ekvivalenta isoleringen är tunnare än 0,15 m - med gjorda antaganden.

Bedömning av lönsamhet

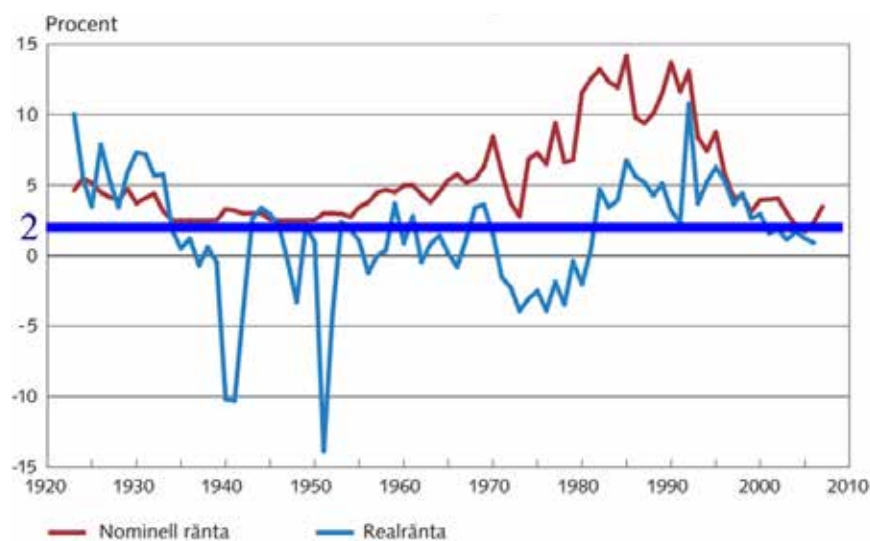
Nedan belyses tre olika metoder lite mer utgående från en fiktiv värmepumpinvestering.

- Avbetalningsmetoden (Payback-metoden) – hur snabbt får jag tillbaka investeringen?
- Nuvärdesmetoden – hur många kronor tjänar jag på affären över tid?
- Internräntemetoden – vad får jag för ränta på mina pengar?

Man kan aldrig ”tjäna” på att köpa en värmepump. Värmepumpen kommer att kosta pengar både att köpa och sedan att driva. ”Vinsten” uppstår när man jämför värmepumpen med ett alternativ som är dyrare – t ex att behålla den gamla uppvärmningsformen.

När man använder metoder som förutsätter en kalkylränta är det viktigt att sätta denna kalkylränta riktigt. Eftersom inflation innebär att återbetalningar av lånet i framtiden minskar i värde bör den nominella bankränta man räknar med minskas med inflationen. Då får man den s.k. realräntan. Till denna realränta bör man sedan göra ett risktillägg. För en standardvärmepump bör detta tillägg läggas på kanske 1 %. Om det är en ny okänd värmepumpstyp kan risktillägget göras betydligt större.

Realräntan har i genomsnitt legat på cirka 2 % mellan 1923 och 2008 enligt Björn Lagerwalls rapport till riksbanken⁹. En lagom realräntesats borde ligga i området 3-4 % för en vanlig värmepump.

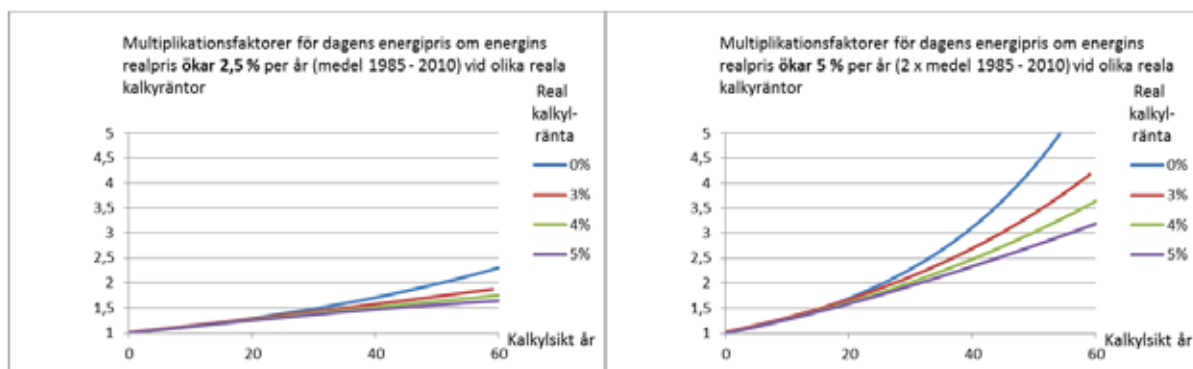


Figur 21. Realräntan i Sverige (Björn Lagerwall, Riksbanken)

Det är svårt att uppskatta livslängden för berg- och jordvärmepumpar. Sannolikt ligger den runt 20 år i genomsnitt. Borrhållet/jordvärmeslingan och installationer håller nog mycket längre tid – kanske 60 år. Det betyder att man kanske måste reservera pengar för att byta värmepump vart 20:e år om man vill räkna på lång sikt. Alternativt kan man bara räkna på 20 års sikt men då notera kvarvarande installationer och hål som ett restvärde.

Energipriset har ökat reellt cirka 2,5 % per år mellan 1985 och 2010, sett som ett medelvärde på el, olja och fjärrvärme. Man kanske kan räkna med att den ökningstakten fortsätter. Det finns en del människor som tror att vi närmar oss ”Peak oil” vilket innebär att ökningstakten på energipriset kommer att bli högre. Som en jämförelse finns därför multiplikationsfaktorer med som återspeglar 5 % årlig real energiprisökningstakt. För att ta hänsyn till framtida energiprishöjningar bör dagens energipris alltså multipliceras med följande faktorer, Figur 22. Multiplikationsfaktorerna har helt enkelt beräknats som kvoten av nuvärdet för energikostnaden med respektive utan real energiprishöjning.

⁹ Björn Lagerwall, Realräntan i Sverige, Riksbanken, juli 2008



Figur 22. Multiplikationsfaktorer för dagens energipris för att ta hänsyn till framtida energiprishöjningar.

Nedan belyses metoden från ett (ganska gynnsamt) värmepumpinvesteringsexempel som inte är reellt på något sätt utan bara används för att t ex belysa Excels eller liknande programs användbarhet i sammanhanget. Från skatte- och bidragseffekter (t.ex. "Rotavdrag") har bortsetts – egentligen bör de vara med, men det är ett snårigt område med kort "bäst före datum". Likaså har bortsetts från servicekostnader. De kan antas uppgå till omkring 1 % av investeringen per år under värmepumpens livslängd. De olika färgerna i figuren syftar till att underlätta förståelsen.

Avbetalningsmetoden (Payback) beräknar en återbetalningstid. Man räknar ut hur mycket man tjänar varje år på att göra investeringen t ex i jämförelse med att inte göra någonting. Sen ser man hur lång tid det tar innan det intjänade beloppet överstiger investeringen. I exemplet i Figur 23 tog det 5 år.

Inköp värmepump och hål	150000 kr			
Kostnad för elvärme	45000 kr/år			
Kostnad för el mm till VP	15000 kr/år			
Besparing med VP	30000 kr/år			
Återbetalningstid	5 år			(150 000/30 000 = 5)

Figur 23. Avbetalnings- Återbetalnings- eller Payback-metoden

Nuvärdesmetoden¹⁰ räknar ut vad värdet av investeringen långsiktigt blir jämfört med t ex att inte göra någonting. I exemplet som visas i Figur 24 framgår att det över tid summerade och diskonterade värdet av energibesparingen efter 20 år har värdet 744 893 kr jämfört med att fortsätta med elvärme. I exemplet finns också ett kvarvarande borrhål med installationer som från början var värda 75 000 kr upptagna till ett rest-nuvärde (värde idag) av bara 41 526 kr. Hålet kan nämligen användas till nästa generation värmepump utan att man behöver borra igen. För att räkna ut ett restvärde av hålet efter 20 år med en kalkylränta på tre procent tar man $75\,000 / 1,0320 = 41\,526$. Diskontering¹¹ innebär att en viss intäkt i framtiden blir mindre värd. I vårt fall blir en viss intäkt 3 % mindre värd för varje år framåt i tiden. Det totala nuvärdet av hela projektet blir: Energivinst + Restvärde – Investering = 637 664 kr.

¹⁰ <http://sv.wikipedia.org/wiki/Nuvärdesmetoden>

¹¹ <http://sv.wikipedia.org/wiki/Diskontering>

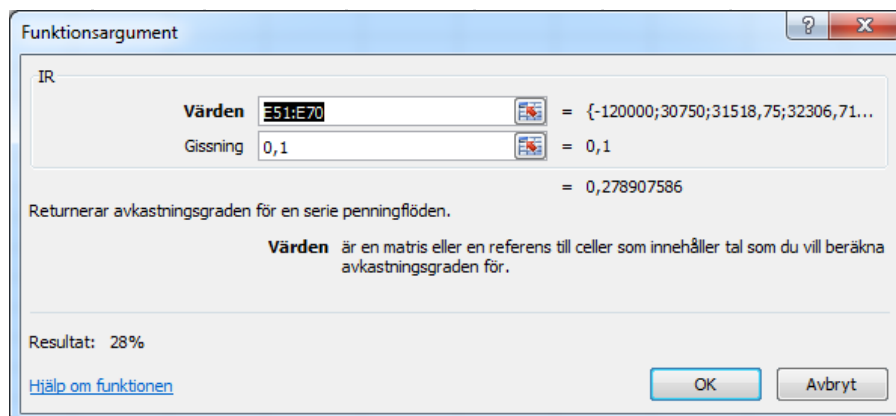
Nuvärdesmetoden						
Inköp värmepump	75000	kr				
Installation och borrhål	75000	kr				
Realränta (=inflationsrensad)	3%					
Energiprishöjning (real)/år	2,50%	per år				
Driftskostnad med elvärme	45000	kr/år				
Driftskostnad med värmepump	15000	kr/år				
	Kostnad om elvärme behållits	Kostnad med VP	Real "vinst" per år	Dis-konterad "vinst" = nuvärdet varje år	Kvarv. värde av hål och installationer	
År						
1	45000	15000	30000	30000		75000
2	46125	15375	30750	29854		72816
3	47278	15759	31519	30601		70695
4	48460	16153	32307	31366		68636
5	49672	16557	33114	32150		66637
6	50913	16971	33942	32954		64696
7	52186	17395	34791	33777		62811
8	53491	17830	35661	34622		60982
9	54828	18276	36552	35487		59206
10	56199	18733	37466	36375		57481
11	57604	19201	38403	37284		55807
12	59044	19681	39363	38216		54182
13	60520	20173	40347	39172		52603
14	62033	20678	41355	40151		51071
15	63584	21195	42389	41155		49584
16	65173	21724	43449	42183		48140
17	66803	22268	44535	43238		46738
18	68473	22824	45649	44319		45376
19	70185	23395	46790	45427		44055
20	71939	23980	47960	46563		42771
			Summa:	744893	Restvärde:	41526
Nuvärde av "vinsten" + restvärde av hål och installation efter 20 år						787664
Nuvärde av kostnaden att köpa värmepump just nu						-150000
Nuvärdet av hela projektet						637664

Figur 24. Nuvärdesmetoden

Internräntemetoden¹² betraktar alla utbetalningar för att skaffa värmepumpen, alla besparingar som görs under värmepumpens livslängd och det positiva restvärde som hålet har. Alla dessa belopp skall vara reala, dvs. rensade från allmän inflation, men inkludera förväntade reala energiprisökningar i framtiden (utöver den allmänna inflationen). För att räkna ut internräntan, dvs. den procentuella avkastning som investeringen ger jämfört med att inte göra den, kan programmet Excel användas. Först ställer man sig på en ledig ruta. Sedan används den lilla knappen f_x där *finansfunktioner* och *internränta* (IR) väljs. Man blir uppmanad att markera en del av en kolumn och väljer då den kolumn där alla utbetalningar, besparingar och restvärden placerats (Vinst + eller förlust – alltså E51-E70)) i ordning år för år. Som resultat fås den uträknade internräntan i den från början valda rutan (E72). Anledningen till att internräntemetoden använts så relativt lite kan bero på att man tidigare inte haft möjligheter att enkelt beräkna räntabiliteten.

¹² <http://sv.wikipedia.org/wiki/Internräntemetoden>

År	Utbetalningar	Realvinster (ej diskonterade)	Restvärden	Vinst (+) eller förlust (-)
1	150000	30000		-120000
2		30750		30750
3		31519		31519
4		32307		32307
5		33114		33114
6		33942		33942
7		34791		34791
8		35661		35661
9		36552		36552
10		37466		37466
11		38403		38403
12		39363		39363
13		40347		40347
14		41355		41355
15		42389		42389
16		43449		43449
17		44535		44535
18		45649		45649
19		46790		46790
20		47960	75000	122960
		Internräntan		28%



Figur 25. Internräntemetoden



3. Värmepumpens storlek (och lite mer ekonomi)

Jan-Erik Nowacki

3. Värmepumpens storlek (och lite mer ekonomi)

Jan-Erik Nowacki

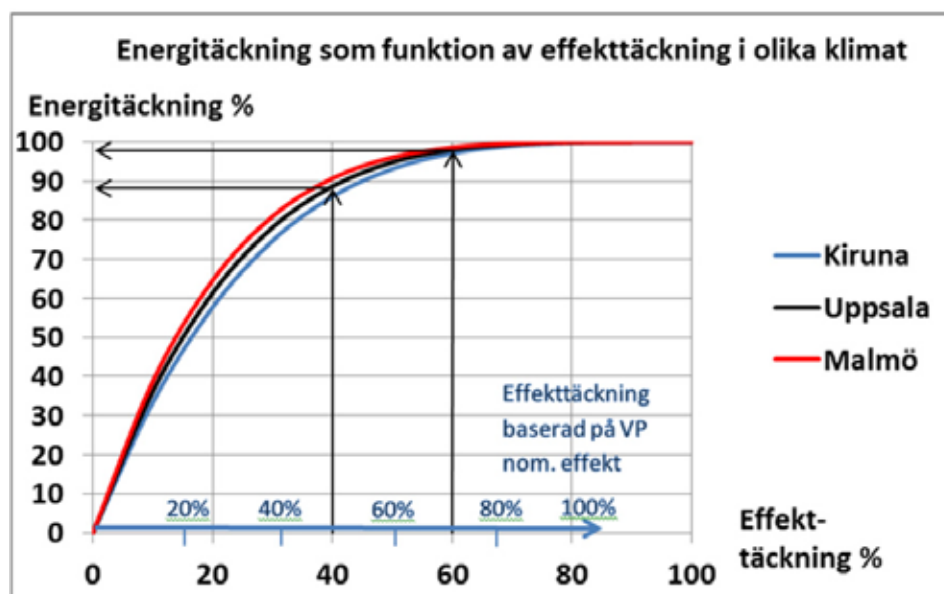
Hur stor värmepump skall man välja? Det förutsätts nedan att man vet hur stor effekt huset kräver för att hållas varmt den kallaste dagen som ofta kallas DUT eller DVUT (Se även kapitel 4) samt hur mycket energi huset kräver årligen. För ett befintligt hus kan man få reda på en hel del genom föregående års räkningar från sin energileverantör. För ett nytt eller ”okänt” hus måste man antingen ha goda energidata från byggaren eller göra någon form av mätning. Man kan även gå in på Energimyndighetens hemsida där det finns ett web-baserat program för att på ett ungefär räkna ut sitt årliga uppvärmningsbehov inklusive tappvarmvatten i kWh. För att sedan uppskatta husets effektbehov (kW), dvs. den effekt som krävs för att hålla varmt i huset vid DUT, dividerar man det nyss uträknade uppvärmningsbehovet med:

- 2800 för södra Sverige
- 3100 för mellersta Sverige
- 3500 för norra Sverige

Observera att detta är en förenklad uppskattning.

Effekttäckning, energitäckning och investeringskostnad

Effekttäckningsgraden anger hur stor andel av maxeffekten kallaste dagen som värmepumpen täcker och energitäckningsgraden anger hur stor andel av årsenergin för uppvärmning som värmepumpen ger. Den effekt som värmepumpen inte kan täcka vid en viss tidpunkt måste tas med spets- eller tillsatsvärme som ofta tas från en elpatron. De två täckningsgraderna hänger ihop. De är också lite beroende av klimatet. I ett typiskt kustklimat med en lång vintertid omkring 0 °C med få riktigt bistra perioder, lönar det sig lite bättre att skaffa en liten värmepump, än i ett kallt inlandsklimat typ Kiruna.



Figur 26. Energitäckning som funktion av effekttäckning i olika klimat.

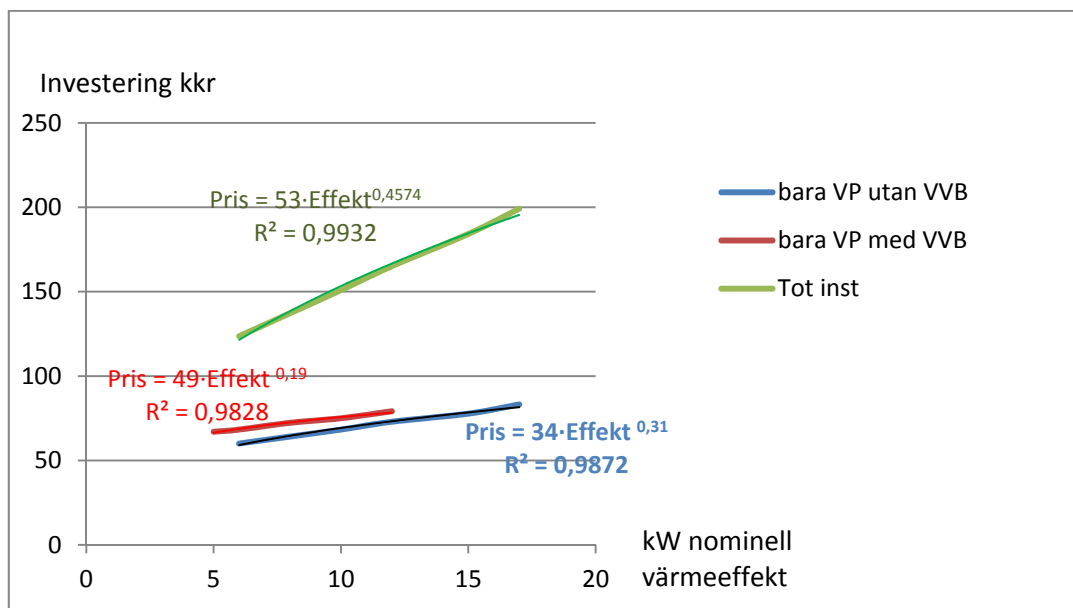
Kurvorna har erhållits genom att räkna på exempelvis med ett tillverkarprogram - de följer grovt formeln $\text{Energitäckning} = 1 - (1 - \text{Effekttäckning})^4$ där koefficienten 4 varierar något (i Kiruna 3,9, Uppsala 4,3 och Malmö 4,7). Dessa data har framtagits med ett tillverkarprogram (Vitocalc) och avser bergvärmepumpar med konstantvarvs scrollkompressorer, där huset har en framledning av 55 °C och en returledning på 45 °C vid DUT. Den värmepumpeffekt som används vid beräkningen av effekttäckningen är lägre än den nominella värmepumpeffekten. Den effekt som använts då man beräknar effekten på den "svarta" X-axeln tar nämligen hänsyn till att varmvattenberedning måste ske hela tiden, att hålet blir något kallare på våren och att effekten avtar vid högre framledningstemperatur. För att förenkla jämförelsen har en annan axel "nominell" effekttäckning (blå) också inritats, där man istället antar värmepumpens nominella effekt vid cirka 0 °C inkommande köldbärartemperatur och 45 °C utgående värmebärartemperatur (ungefär som EN14511) vid beräkningen av effekttäckningen.

Om vi tar en värmepump i Uppsala som har t ex 40 % verklig effekttäckning (svart axel) så ger den omkring 88 % energitäckning. Skulle vi förstora den värmepumpen 1,5 gånger så att den verkliga effekttäckningen blir 60 % så skulle energitäckningen öka till 98 %. Om man antar att besparingen grovt ökar ungefär som energitäckningen ger en 50 % större pump alltså bara 10 % högre besparing.

Vid första påseendet förefaller det vara helt vansinnigt att köpa en 50 % större värmepump för att spara bara 10 % mer energi. Hur vansinnigt det är, beror emellertid på faktorer som:

1. Hur mycket dyrare är en större värmepump inklusive installation totalt?
2. Hur uppskattar man kommande energipriser och effektagifter (säkringsavgifter)?
3. Hur ansätter man ränta och avskrivningstid?

Om man då först skulle se på hur mycket mer en 50 % större värmepump kostar bör man se på marginalkostnaden. Om man går in på prislistor på nätet finner man att marginalkostnaden för att öka den nominella värmeeffekten är liten (se Fig. 27). (Den nominella effekten definieras enligt EN 14511 vid 0 °C på inkommande köldbärare och 35 resp 45 °C på utgående värmebärare. För rena aggregat ligger exponenten mellan 0,19 och 0,31 vilket innebär att ett 10 % större aggregat blir 1,9 - 3,1 % dyrare. När man sedan väger in att ett borrhål tenderar att prissättas linjärt med antalet meter men att installationen däremot endast tar obetydligt längre tid för en stor värmepump än för en liten får man grovt den gröna kurvan för hela installationen.

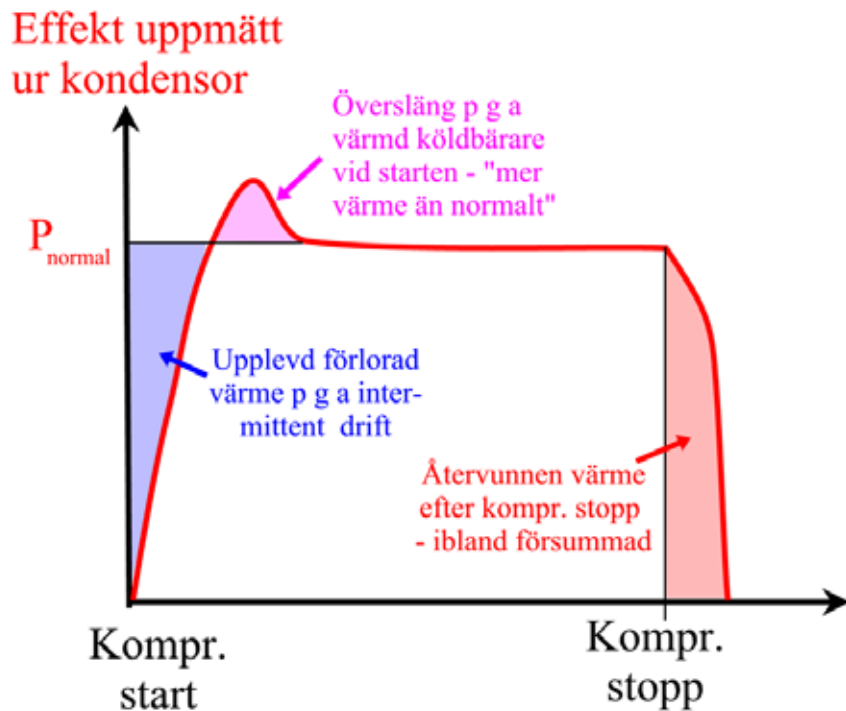


Figur 27. En ökning av aggregatstorleken med 10 % ger en ökning av totala installationskostnaden med storleksordningen 4,6 % (siffran 0,4574 i exponenten på den gröna kurvan). Ekvationerna i diagrammet är en anpassning av en matematisk potenskurva till data. De höga värdena för R^2 betyder att anpassningen är god

Den gröna kurvan indikerar att en ökning av värmepumpens storlek med 50 % enligt ovan skulle kosta cirka $(1,5)^{0,46} = 1,2$ gånger mer, när man ser på den totala installationen. Man kan då fråga sig om en tioprocentig besparingsförbättring verkligen motiverar en tjugoprocentig investeringskostnadsökning? Mer om dessa överväganden kommer i slutet av detta avsnitt.

Betydelsen av fler start och stopp

En stor värmepump kommer att få fler start och stopp än en liten. En liten värmepump kommer att gå längre tid när den väl startat. Det hävdas ibland att energieffektiviteten sjunker med många start och stopp. Försök på KTH⁹ visar dock att cykellängden i stort sett saknar betydelse. Visserligen ser det ut som om man gör en liten förlust när kompressorn startar, men den återvinns i huvudsak när kompressorn stannar.



Figur 28. Effektvariationer, principiellt, man återvinner i stort startförluster vid stopp (enligt Bergman,¹³).

Antalet starters inverkan på livslängden

Det är svårt att hitta belägg för att antalet starter påverkar livslängden. Inom branschen finns dock en övertygelse om att antalet starter har en avgörande betydelse. En ökning av värmepumpens storlek från 67 % verklig effekttäckning (normalt idag) till 100 % effekttäckning medför att antalet starter ökar med 50 % - hur mycket förkortar det kompressorns livslängd? Det finns ju andra faktorer, som vätska i inloppet till kompressorn och höga hetgastemperaturer i utloppet, som också kan påverka starkt. Varvtalsreglerade kompressorer görs redan idag så att de går mycket lång tid. Sådana varvtalsreglerade värmepumpar bör väljas så att de vid sitt maxvarvtal klarar hela effektbehovet. På detta sätt slipper man annan tillsatsvärme - och frågan om antalet starter blir av underordnad betydelse!

En mindre kompressor arbetar med lägre kondensering och högre förångning som ger bättre SCOP.

Om inte flödet genom värmepumpens kondensor får öka när man väljer en större värmepump kommer naturligtvis framledningstemperaturen att öka mycket. Det leder till en högre kondenseringstemperatur och lägre värmefaktor. Nu anpassas dock i allmänhet kondensorpump och även köldbärarpumpen till kompressorn. Det gör att temperaturhöjningen på värmebäraren ofta blir cirka 5 grader och temperatursänkningen på köldbäraren blir cirka 3 grader oberoende av värmepumpens storlek (i ett rimligt intervall). Det är först när radiatornätet får ett för stort strömningsmotstånd eller radiatorventilerna börjar föra oljud som man inte kan öka flödet. Normalt går det.

¹³ Anders Bergman, Inverkan av intermittent drift av värmepumpar, Laboratorieprov, Forskningsanslag BFR 820919-8, Mekanisk Värmeteori och Kylteknik, KTH Stockholm

Om radiatorytan är liten, förmår radiatorerna dock inte öka sin värmeavgivning till rumsluften. Då stiger radiatornätets temperatur och även kondenseringstemperaturen. Man får en lägre värmefaktor. Radiatorernas värmeavgivning kan emellertid lätt ökas genom användning av t ex ”elementfläktar” eller insättning av kompletterande radiatoryta. Om man skaffar en väl fungerande volymtank till radiatorerna kan man ladda den när värmepumpen går och sen använda värmen under en längre tid när kompressorn står. Radiatorerna kommer då att fungera som om värmepumpen vore mindre. Om man använder en volymtank av detta slag är det viktigt att tanken är väl stratifierad så att inte framledningsvatten och returledningsvatten blandas.

Även om köldbärarpumpens storlek anpassas efter kompressorstorleken kommer förångningstemperaturen att sjunka om man har en större värmepump. Borrhållet belastas något mer och värmeväxlingsförhållandena där är svårt att påverka. Normalt borrar man därför från början ett djupare hål om man sätter in en större värmepump.

Slutsatsen blir dock att en större värmepump kommer att få en marginellt sämre SCOP. Lite överslag med ett tillverkarprogram (Vitocalc från Viessmann), indikerar att årsvärmefaktorn sjunker cirka 0,2 % per procent som effekttäkningsgraden ökas. Detta har använts i den fortsatta kalkylen nedan.

Ekonomi

Nedanstående beskrivning blir lite ”formelspackad” den som inte är road av sådant kan med fördel ögna igenom det sista avsnittet - ”Slutsatser om värmepumpstorlek”.

Totalkostnaden för en energin från en värmepump kan förenklat sammanfattas som:

$$c_{vp,kWh} = \underbrace{\frac{c_{el} \cdot ETG}{COP}}_{\text{Energi till värmepump}} + \underbrace{\frac{c_{spets} \cdot (1 - ETG)}{\eta_{spets}}}_{\text{Energi till spetsen}} + \underbrace{\frac{C_{syst} \cdot a}{\tau}}_{\text{Kapital- kostnad}} + \underbrace{\frac{C_{syst} \cdot s}{\tau}}_{\text{Service + UH}}$$

Där:

$c_{vp,kWh}$ = Totalkostnaden per kWh för värmepumpvärmen

c_{el} = Kostnaden för el allt inklusive per kWh t ex 1,5 kr/kWh

ETG = Energitäkningsgraden enligt Figur 26 t ex 0,98 (Effekttäckninggraden kallas PTG nedan)

COP = Årsvärmefaktorn för själva värmepumpen exklusive tillsatsvärme t ex 3,5

c_{spets} = Kostnaden för spetsenergin allt inklusive t ex 1,5 kr/kWh

η_{spets} = Verkningsgraden för spetsen t ex 0,85 för pellets eller 1 för el.

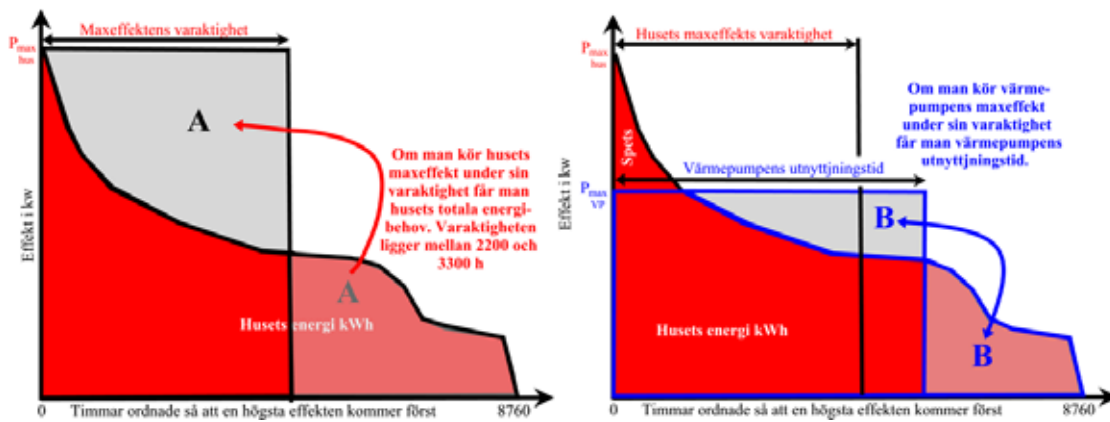
C_{syst} = Investeringskostnaden för systemet allt inklusive per kW t ex 150 kkr / 15 kW => 10 kkr/kW

a = Annuitet t ex 3 % realränta (2 % infl. => 5 % bankränta?) och 25 års avskrivning ger $a_{real} = 5,7 \%$

s = Specifika service- och underhållskostnaden av investeringen varje år – kanske 1 %

τ_{vp} = Utnyttjningstiden för värmepumpen (hur den kan beräknas visas nedan) t ex 4000 h/år.

Varaktigheten τ anger hur många timmar huset måste utsättas för temperaturen DVUT för att få lika stor energiförbrukning som det har i verkligheten. Värmepumpens utnyttjningstid anger hur många timmar den skulle vara i drift varje år för att leverera den energi som den levererar i verkligheten. Hur många timmar det blir, beror på om man anser att värmepumpen går med sin nominella effekt (vid 0/45) eller om den går med den avgivna effekten kallaste timmen.



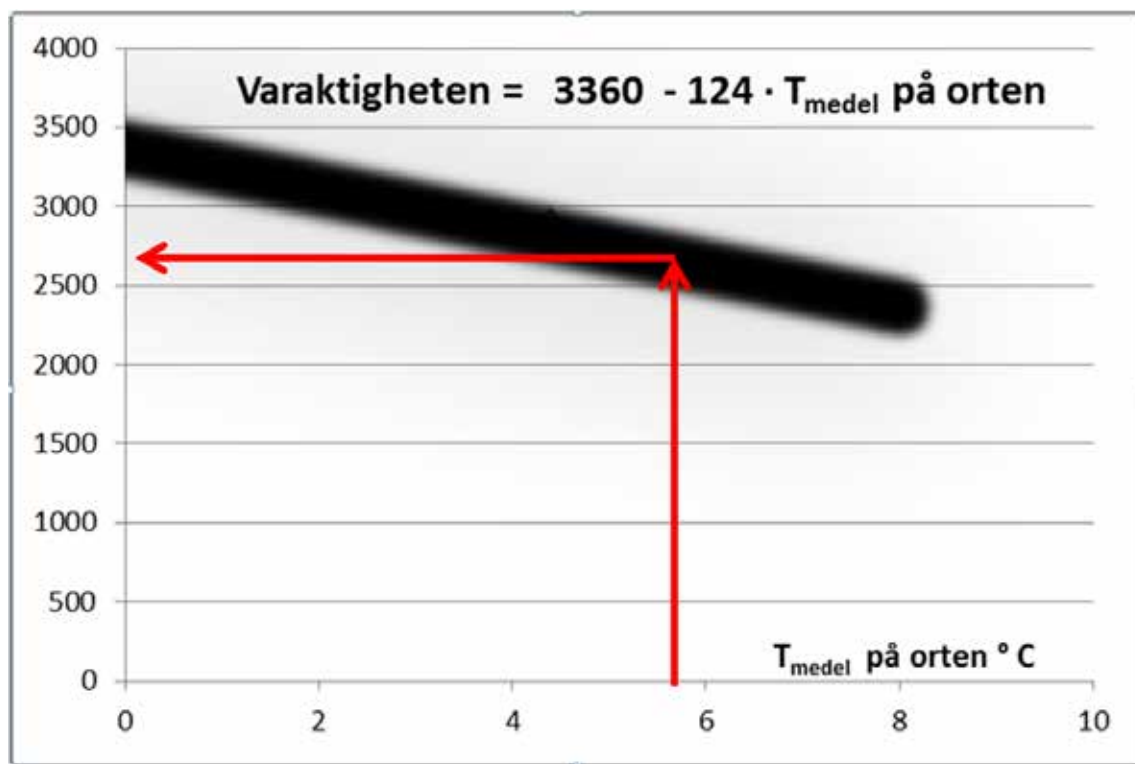
Figur 29. Varaktigheten för husets energibehov, hus, och utnyttjningstiden för värmepumpen τ_{vp} , uttryckt i varaktighetsdiagram. Pilarna betyder att ytorna är lika stora respektive.

Man kan visa att:

$$\tau_{vp} = \tau_{hus} \cdot ETG / PTG \quad (1)$$

där PTG var den verkliga effekttäckningsgraden och ETG energitäckningsgraden för värmepumpen

I nedanstående figur finns en ungefärlig bild av τ_{hus} som funktion av medeltemperaturen på orten.



Figur 30. Den ungefärliga varaktigheten för en byggnads energibehov. Det bör dock påpekas att den beror på många andra faktorer utöver klimatet – t ex byggnadens tidskonstant och andelen tappvarmvatten varför linjen medvetet gjorts tjock.

Låt oss som exempel beräkna totalkostnaden för värmen från en värmepump på 10 kW i ett hus i Uppsala med maxeffekten 15 kW när det blir som kallast ute.

Varaktighet för husets energibehov = 2700 h enligt Fig. 30

Verklig effekttäckningsgrad för värmepumpen = $10 \text{ kW} / 15 \text{ kW} = 0,67$

Energitäckningsgrad för värmepumpen = 0,98 enligt Fig. 26

Utnyttjningstid för värmepumpen = $2700 \cdot 0,98 / 0,67 = 3950 \text{ h}$ (enligt Ekv. 1)

Om vi antar alla andra värden enligt exempelvärdena på föregående sida (och elspets) får vi:

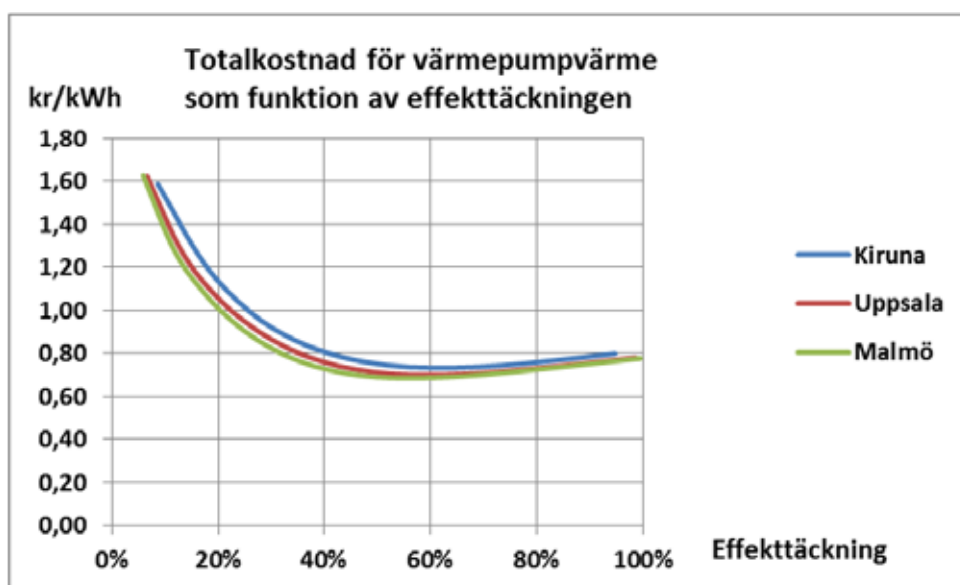
$$c_{vp, kWh} = \frac{1,5 \cdot 0,98}{3,5} + \frac{1,5 \cdot (1 - 0,98)}{1} + \frac{10000 \cdot 0,057}{2700} + \frac{10000 \cdot 0,01}{2700} = 0,70 \text{ eller } 70 \text{ öre/kWh.}$$

Denna kostnad kan jämföras med t.ex. kostnaden vid användning av fjärrvärme eller biobränsle (inklusive deras resp. kapital- och servicekostnad).

Den allra ”bästa” storleken

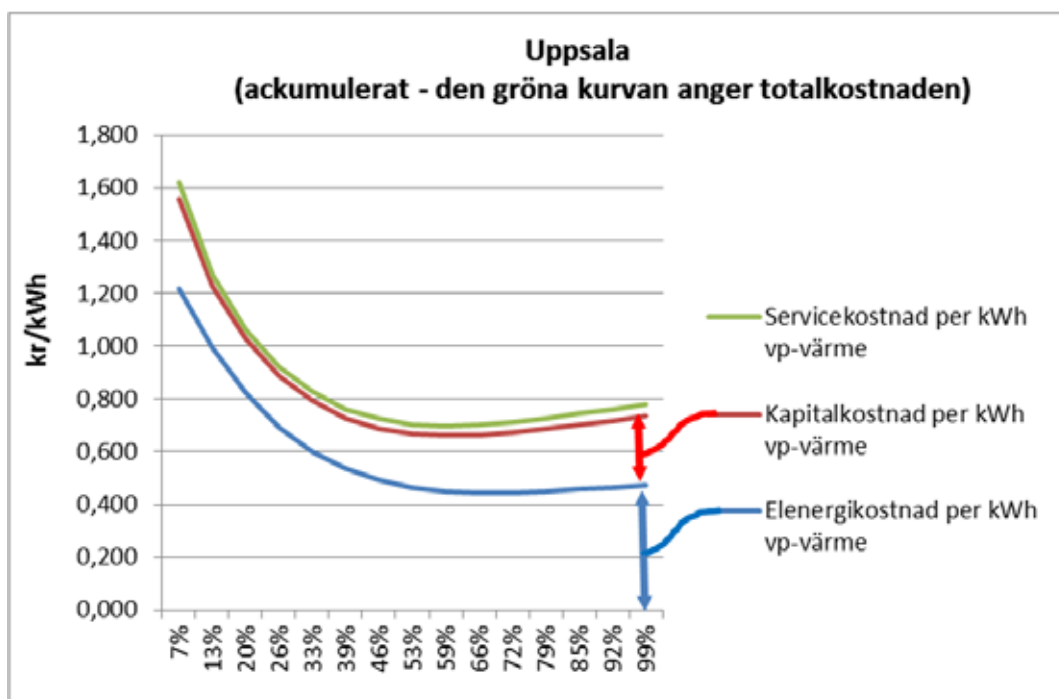
Om man antar att husets energiförbrukning för uppvärmning och varmvatten (exklusive hushållsel) är t.ex. $E_{\text{hus}} = 40\,000 \text{ kWh/år}$ (var det än står i Sverige) finner man att årsvärmefaktorn SCOP blir något sämre i Kiruna än i Malmö eftersom berget är kallare där. Följande årsvärmefaktorer SCOP antogs därför för samma värmepump, och effekttäkningsgraden 60 % insatt, på de tre orterna. När man sätter in t ex 20 000 kWh påverkas årsvärmefaktorerna marginellt nedåt eftersom den relativa andelen tappvarmvatten då ökar. Den kan antas ligga mellan 4-6000 kWh per hus och år beroende på framförallt familjestruktur. När man värmer tappvarmvatten arbetar värmepumpen med en högre temperatur på framledningen.

Tabell 2. Årsvärmefaktor i olika orter	Kiruna	Uppsala	Malmö
SCOP	3,1	3,5	3,7



Figur 31. Summan av energi, kapital och underhållskostnad

Om man analyserar bidraget från energi, kapital och underhåll och service finner man att de i fallet Uppsala fördelar sig enligt Fig. 32.



Figur 32 Energikostnaden är störst därefter kommer kapitalkostnaden och sist underhåll.

Med antagandena ovan hamnar den lägsta totala kostnaden för värmepumpenergin vid effekttäckningar enligt tabell 3. Det kanske kan vara intressant att göra en liten känslighetsanalys för att se hur olika antaganden påverkar den optimala effekttäckningen (PTG). Detta ska bara tas ungefärligt men indikerar att den optimala effekttäckningsgraden är tämligen okänslig för energi- och kapitalkostnad.

Tabell 3. Känslighetsanalys – optimal PTG	Kiruna	Uppsala	Malmö
Basfallet	62 %	60 %	64 %
Fördubblad annuitet 11,4%	60 %	57 %	59 %
Fördubblad energipris 3 kr/kWh	64 %	63 %	67 %

I framtiden kommer vi kanske att få alltfler intermittenta elenergikällor - typ sol och vind. Det kommer kanske att yttra sig så att man vill bestraffa höga effekttutttag ur elnätet när sol och vind inte är tillgängliga. Sannolikt införs då en högre avgift per ansluten kW än idag. Om det sker blir det allt mer lönsamt att försöka öka effekttäckningsgraden till 100 %.

Slutsatser om bergvärmepumpstorlek

Man bör välja en värmepump som klarar mer än 60 % av effektbehovet. Det torde inte innebära något större problem att även använda värmepumpar som klarar 100 % av energibehovet (se Fig. 32). Med dagens räntor och energipriser innebär 100 % täckningsgrad 10 % högre total värmekostnad än optimum idag, men framtida energi- och effekttariffer t ex kan raskt göra 100 % effekttäckning till det lönsammaste alternativet.

Varvtalsstyrda värmepumpar som ger 100 % täckningsgrad har hitintills inte haft så stora framgångar på marknaden. Det beror dels på att de varit dyra men också på att själva regleringen tagit en hel del "parasiteffekt". När varvtalsutrustningarna blivit mer effektiva och kommit ned i pris kan det vara lösningen på täckningsproblemet. Borrhållet kan fortfarande läggas ut precis som nu för kanske 66 % verklig effekttäckning och 98 % energitäckning - men helt enkelt belastas något hårdare när det blir som kallast. Varvtalsreglering har redan införts på de flesta uteluftvärmepumpar. Med uteluft som värmekälla har man dock mycket mer att tjäna på varvtalsreglering. Det beror huvudsakligen på att luftvärmepumpars effekt sjunker snabbt med avtagande utetemperatur - bergvärmepumpar har inte den nackdelen.



4. Radiatorer och andra värmeavgivare

Palne Mogensen och Eric Granryd

4. Radiatorer och andra värmeavgivare

Palne Mogensen

Grundprinciper

Ett värmesystem för uppvärmning av ett hus består i princip av en eller flera radiatorer (värmeelement) i varje rum, matade med uppvärmt vatten från en värmepanna eller motsvarande i en sluten krets. Här, och i det följande, får "radiator" beteckna alla former av värmeavgivare om inte annat framgår av sammanhanget. Exempel på sådana värmeavgivare är förutom vanliga radiatorer, konvektorer, aerotemperar, golvvärme, takvärme, handdukstorkar och värmeelement som förvärmer tilluften. Rörledningen, som för varmt vatten från pannan till radiatorerna, kallas framledning och den ledning som för vattnet tillbaka kallas returledning. Vattenflödet drivs av en cirkulationspump, som vanligen placeras i pannrummet. Ett högt vattenflöde ger liten temperaturskillnad mellan fram- och returledning vid en given värmeeffekt.

Genom att radiatorer, och ofta även rörledningar m.m., invändigt består av oskyddat stål, uppstår korrosion om syre finns närvarande, samtidigt som syret förbrukas. När allt syre är förbrukat upphör korrosionen, vattnet har blivit "dött". Korrosionsprodukten är först rost, sedan slutligen ett svart magnetitslam, som gärna ansamlas i systemets lågpunkter. I system med öppet expansionskärl kommer nytt syre långsamt in i systemet via expansionskärls luftningsledning. Är kärlet av stålplåt korroderar detta; oförbrukat syre fortsätter in i systemet och korroderar rör och radiatorer. Med ett slutet expansionskärl sker inget syretillskott. Även påfyllning av nytt vatten ger en viss korrosion, eftersom vattenledningsvatten innehåller en liten mängd syre.

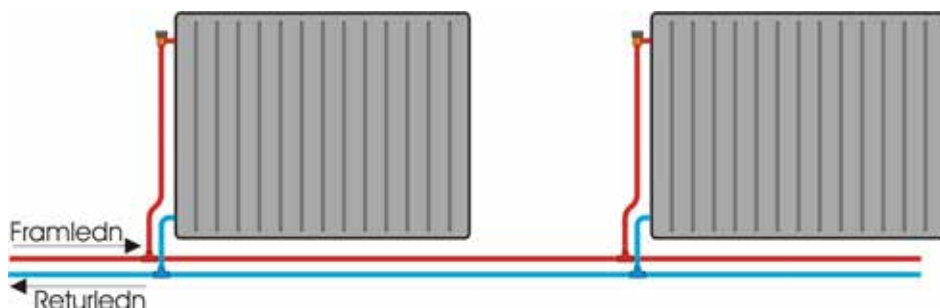
Vid låg utetemperatur kräver huset en högre värmeeffekt och man brukar anse att värmebehovet är proportionellt mot temperaturskillnaden mellan temperaturen inomhus (20 °C) och utetemperaturen. Vid kraftig blåst kan värmebehovet öka på grund av otätheter i husets klimatskärm. Den lägsta utetemperatur, för vilken värmesystemet skall dimensioneras, kallas dimensionerande utetemperatur, förkortat DUT (eller ibland DVUT - Dimensionerande Vinter Utomhus Temperatur, den dygnsmedeltemperatur för orten, som underskrids högst 30 gånger på 30 år). En del av husets värmetillförsel sker genom värmeavgivning från personer som vistas i huset, solinstrålning, matlagning, kyl och frys, värmeläckage från varmvattenberedare och vid varmvattenanvändning m.m. Som en enkel tumregel brukar man säga att dessa värmekällor höjer inomhustemperaturen i ett vanligt hus med 3 grader. Annorlunda uttryckt, värmesystemet skall förse huset med värme upp till den teoretiska innetemperaturen 17 °C för att den verkliga innetemperaturen skall bli 20 °C. I ett välisolerat hus med många boende får extravärmen större betydelse och vice versa och då gäller inte 3-gradersregeln längre. Kaminer och andra eldstäder kan också bidra med (mycket) värme.

En väsentlig skillnad finns mellan ett värmesystem för en bränsleeldad eller elvärmd panna och ett system som skall matas av en värmepump. En bränsleeldad panna bör hållas vid hög temperatur för att undvika kondensutfällning på rökgasberörda ytor och därmed risk för korrosion. Den kan ge hetvatten med temperatur upp till 80 °C utan nämnvärd förlust i verkningsgrad och kopplas via en shunt till värmesystemet. Shuntens blandar hett vatten från pannan med kallare returvatten från radiatorerna till den önskade framledningstemperaturen. Pannan har alltså hela tiden en hög temperatur och shuntens inställning bestämmer framledningstemperaturen; i allmänhet via automatik styrd av ute- och/eller innetemperaturen.

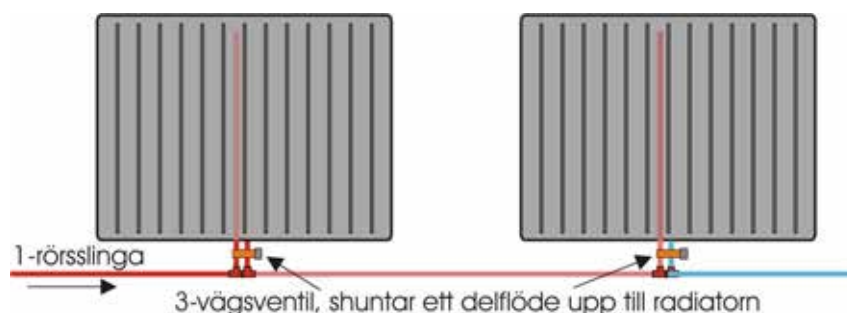
Helt annorlunda blir det vid ett system med en värmepump. Denna arbetar effektivare ju mindre temperaturskillnaden är mellan dess varma och kalla sida. Värmesystemet skall således värma huset vid en så låg temperatur på radiatorerna som möjligt och alla temperaturfall mellan värmepumpens utgående värmevattentemperatur och framledningstemperaturen skall göras så små som möjligt. Att då använda ett shuntsystem och låta värmepumpen ständigt arbeta med hög utgående temperatur är således helt förkastligt. Detta driftsätt kallas ofta för "fast kondensering". Motsatsen, när man inte producerar varmare vatten än man behöver i varje ögonblick, kallas "flytande kondensering".

I det följande utgår vi från att värmesystemet består av radiatorer, men resonemanget blir likartat för system med andra typer av värmeavgivare. Värmepumpens värmefaktor är direkt beroende av värmesystemets framledningstemperatur. Ett högre vattenflöde minskar temperaturskillnaden mellan fram- och returledning vid oförändrad värmeeffekt (medeltemperatur) och är nästan alltid gynnsamt för värmepumpens värmefaktor, eftersom framledningstemperaturen och därmed kondenseringstemperaturen nästan alltid minskar.

Man brukar skilja mellan 1-rörs- och 2-rörssystem för radiatorernas inkoppling. Vid 2-rörssystem, som är vanligast, kopplas alla radiatorer i parallell så att framledningen förgrenas med rör till varje radiator och likadant för returledningen som samlar ihop flödet från radiatorerna (Fig. 33). Vid 1-rörssystem passerar ett enda rör i en slinga under ett antal radiatorer, som i tur och ordning tar ut en del av vattenflödet i röret och återför det efter att vattnet passerat radiatorn och blivit avkyld där (Fig. 34). Normalt är flödet så stort i röret att endast en mindre del behöver ledas upp till radiatorn. För varje radiator som passeras sjunker temperaturen i röret och man låter i allmänhet högst 5 radiatorer vara kopplade till ett rör. Har man flera radiatorer installerar man ytterligare 1-rörs slingor parallellt från pannan. För att kompensera för den sjunkande temperaturen i röret brukar man öka radiatorstorleken mot slutet av slingan. Vid dimensioneringen måste man ta hänsyn till den sjunkande temperaturen hos värmevattnet efter varje passage av en radiator.



Figur 33. 2-rörssystem. Varje radiator är direkt kopplad till fram- respektive returledningen.



Figur 34. 1-rörssystem. Radiatorerna är anslutna efter varandra till ett rör som bildar en slinga från VÄRME UT till VÄRME IN på värmepumpen eller pannan. Vid varje radiator sitter en 3-vägsventil för reglering av delflödet genom radiatören. Efter varje radiator sjunker värmevattnets temperatur. På moderna radiatorer sitter radiatorkopplet på sidan av radiatören på samma sätt som vid 2-rörssystem och det kan vid första ögonkastet vara svårt att se vad som är vad.

Radiatorernas storlek (värmeeffekt) bestäms med hänsyn till beräknat värmebehov för varje rum och avsedd värmevattenstemperatur. Ett värmesystem betecknat t ex 80/60 grader betyder då att det dimensionerats så att vid DUT skall framledningstemperaturen vara 80 oC och returen hålla 60 °C. Temperaturskillnaden blir således 20 grader. Vid lägre värmebehov minskar både framlednings- och returtemperatur så att även skillnaden minskar mellan dem. Denna höga temperaturnivå är naturligtvis inget problem när värmekällan är en bränsleeldad panna, som gärna skall hållas vid hög temperatur. Vid värmepumpsdrift är det mycket angeläget att få så låga framledningstemperaturer som möjligt och ett 80/60 graders-system är inte användbart utan modifieringar.

Mot slutet av 1970-talet kom önskemål om att utforma radiatorerna så att de blev stora nog att fylla ut större delen av fönsterbredden i de välisolerade hus som började komma. Detta för att motverka kallras bredvid radiatören, som kunde bli besvärande om denna var liten. Ungefär samtidigt började intresset växa för alternativa värmekällor med krav på system för lägre temperaturer, såsom solvärme och värmepumpar. Man införde då den tidens lågtemperatursystem, t.ex. 55/45 grader, som naturligtvis krävde större radiatorstorlekar. Eftersom husen samtidigt blev bättre isolerade var det ingen svårighet att få plats med större radiatorer under fönstren, som är den gängse radiatorplaceringen.

Radiatorer som värmeavgivare

Äldre radiatorer utformades som så kallade sektionradiatorer, ofta av gjutjärn, som byggdes ihop med ett antal värmeavgivande sektioner till önskad bredd och hölls samman med någon form av oftast invändiga dragstag (Fig. 35a). Pjäserna blev tunga och stod oftast stadigt med fötter på golvet. Värmesystemet saknade i allmänhet cirkulationspump och vattenflödet drevs av täthetsskillnaden mellan det varma och kalla vattnet i fram- resp. returledningen, självcirkulation. Strömningsmotståndet måste hållas lågt och rördimensionerna blev därför grova. Sektionsradiatorer tillverkas fortfarande, men nu av plåt och blir därigenom betydligt lättare och behöver inte stå på golvet. Sektionerna svetsas samman. Anslutningarna placeras på gavlarna och upphängningsanordningar svetsas fast på lämpliga ställen (Fig. 35b).

En annan typ av radiatorer består av plåtar med vertikala veck, påminnande om kylflänsar. Plåtarna läggs mot varandra med vecken utåt och förses med en övre och nedre fördelningskanal (Fig. 36a).

Den nu vanligaste radiatortypen i Sverige är panelradiatorn, i princip en bakre och en främre plåt, vilka försetts med lämpliga korrugeringar och därefter svetsas ihop längs kanterna. Korrugeringarna utgör vattenkanaler, som förses med röranslutningar och en luftningsventil på baksidan. Upphängningsanordningar svetsas fast på baksidan i förekommande fall (Fig. 36b).



Figur 35 a) Äldre sektion radiator av gjutjärn.

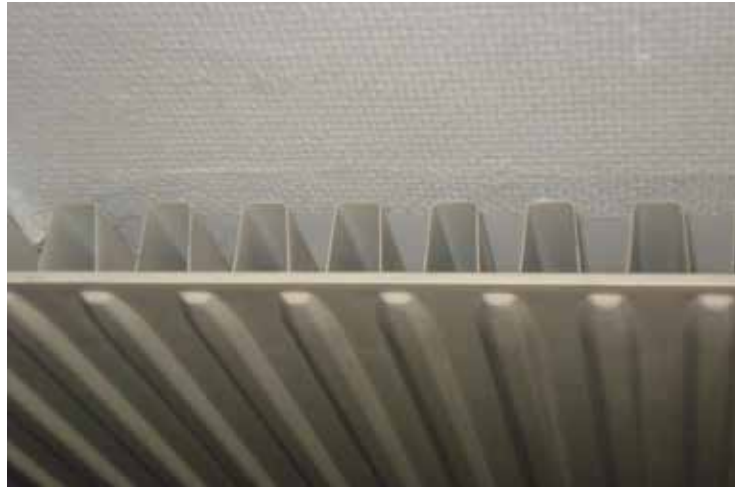
b) Sektionsradiator av stålplåt. Sektionerna är sammanfogade genom svetsning.



Figur 36 a) Radiator av veckad stålplåt.

b) Panelradiator.

Som framgår av namnet "radiator" sker en väsentlig del av värmeavgivningen genom strålning ut mot rummet. För att öka värmeavgivningen kan panelradiatorn förses med veckade plåtar som svetsas fast på baksidan och som ökar konvektionen (Fig. 37). Panelradiatorn kan byggas ihop till ett paket med en eller två paneler bakom den främre.



Figur 37. Panelradiator med fastsvetsade konvektionsplåtar på baksidan.

Ett vanligt tillbehör till radiatorer är termostatventiler, som innehåller en känselkropp som reglerar vattenflödet efter en inställd rumstemperatur. Nackdelen med radiatormonterade termostater är att de känner av temperaturen på en ganska ointressant plats i rummet. Termostatventiler med separat känselkropp är bättre ur denna synpunkt, men kapillärröret mellan känselkroppen och ventilen är känsligt för mekanisk åverkan.

Det råder delade meningar om lämpligheten att ha termostatventiler i ett värmepumpsystem. Ett bra flöde i radiatorkretsen måste vara säkerställt i alla lägen, annars riskeras att värmepumpen löser ut på högtryckspressostaten och stannar. I värsta fall måste denna återställas manuellt. Situationen kan uppstå när huset är obebott och termostatventilerna dras ned till ett minimum för att spara el, samtidigt som det blir varmt ute. Låt alltid ett par radiatorer få vara varma.

Tabell 4 visar värmeavgivningen från olika typer av radiatorer vid medeltemperaturen 50 °C (i princip ett 55/45-system) och rumstemperaturen 20 °C (Temperaturskillnad, $DT = 30$ grader). Radiatorerna har alla höjden 600 mm och bredden 1000 mm. Värmeavgivningen från en radiator är inte helt proportionell mot temperaturskillnaden till rumstemperaturen, vilket man kunde förvänta sig. I själva verket ökar värmeavgivningen något snabbare. Mer om detta i avsnittet "Injustering av systemet".

Tabell 4. Värmeavgivning vid $\Delta T = 30$ grader från olika radiatortyper med höjden 600 mm och bredden 1000 mm. Med djup avses det horisontella måttet i riktning vinkelrätt mot väggen (tjocklek). Sektionsradiatorer finns i många utföranden och effektvärdena för dessa bör tas som riktvärden. Källor: Äldre DIN-standarder samt tillverkares katalogdata.

Radiortyp	Effekt [W]	Strålningsandel [%]
Äldre sektionsradiator av gjutjärn, breda sektioner (ca 75 mm). Djup 110 mm	490	30
Dito. Djup 220 mm	870	25
Sektionsradiator av plåt, smala sektioner (ca 35 mm). Djup 110 mm	740	20
Dito. Djup 220 mm	1300	10
Veckad radiator. Djup 40 mm	470	30
Dito. Djup 100 mm	830	15
Panelradiator enkel	320	40
Panelradiator enkel med konvektionsplåt på baksidan	490	30
Panelradiator dubbel med konvektionsplåt på ena panelen	750	17
Panelradiator dubbel med konvektionsplåtar på båda panelerna	910	15
Panelradiator trippel med konvektionsplåtar på alla panelerna	1320	10

Notera speciellt den kraftiga förbättringen av värmeavgivningen hos en enkel panelradiator i utförandet med konvektionsplåtar.

Golvvärme

Ett vattenburet golvvärmesystem består av rörslangor inlagda under golvbeläggningen genom vilka värmevattnet strömmar. Rören är numera plaströr av tvärbunden polyeten, PEX, som dessutom belagts med ett lämpligt material för att få låg syrediffusion. Syre, som läcker in, förstör rör och andra detaljer av stål i värmesystemet.

Golvvärmesystem arbetar vid låg temperatur; en typisk golvytetemperatur kan vara 27 °C vid maximal värmeeffekt och 20 °C inomhus, vilket ger ca 65 - 75 W/m² golvarea. Vattentemperaturen i golvvärmerören kan då vara typiskt max 35 °C vid stengolv och 40 °C vid trägolv. Vid 20 °C golvytetemperatur sker ingen värmeavgivning alls från golvet. Värmereglerområdet är således mycket sammanpressat och skillnaden mellan framlednings- och returtemperatur från golvet får inte uppgå till mer än några grader. Detta åstadkoms genom att man lägger flera golvslangor i parallell och att golvvärmesystemet får ett eget cirkulationssystem, så att motsvarande höga flöde kan upprätthållas i detta. I stengolv gjuts värmerören normalt in i undermassan, medan man för trägolv ofta lägger värmerören i en spårad spånplatta tillsammans med aluminiumplåtar för att förbättra värmespridningen från golvvärmerören. Ovanpå detta läggs trägolv på sedvanligt sätt. Trægolv bör inte få bli varmare än 27 °C, eftersom de då kan torka ut och spricka.

Eftersom ett golvvärmegolv blir mycket varmare än ett ovärmt golv måste man isolera väl under detta om det ligger ovanpå ett ouppvämt utrymme. Vanligen lägger man 250 - 300 mm isolering under golv mot mark. Det är även ur fuktsynpunkt viktigt att isolera golv mot mark, eftersom man annars kan få s.k. "omvänd" fuktvandring. Om isoleringen är otillräcklig värms marken under huset under vintern upp till hög temperatur. När man sedan stänger av värmen på våren och golvet blir kallt, kan fukten från den varma marken vandra upp och kondensera i det svalare golvet. Risk för bl.a. mögelproblem.

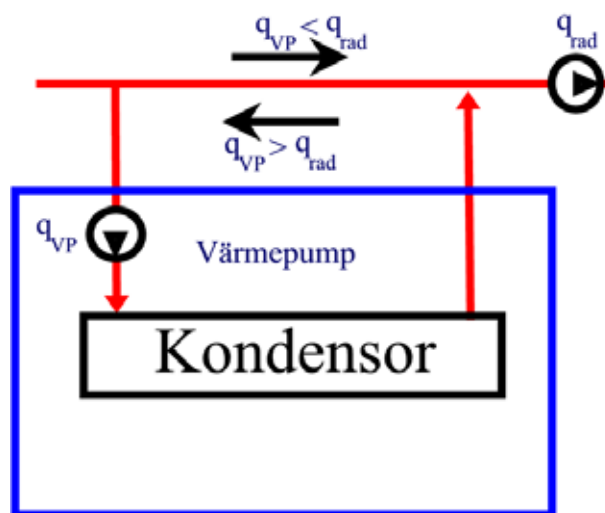
Andra värmeavgivare

När man vill ha en värmeavgivare med låg bygghöjd används ofta konvektorer, som består av ett värmebatteri med tättsittande flänsar placerade på ett värmevattenrör, som kan slingra sig fram och tillbaka genom batteriet. Det hela är omslutet av ett skyddshölje som samtidigt ger skorstensverkan. Strålningsandelen är försumbar. Konvektorn kan också förses med fläkt med horisontell luftström och placeras då över golv (aerotemper) och blåser varmluft över ett större område. Ett sådant aggregat har hög värmeavgivningsförmåga i relation till sin storlek. Aerotemper är vanliga i t ex fabrikslokaler.

Vidare förekommer ofta kamflänsradiatorer i rustika utrymmen såsom garage och liknande. Dessa har i princip samma egenskaper som konventionella radiatorer.

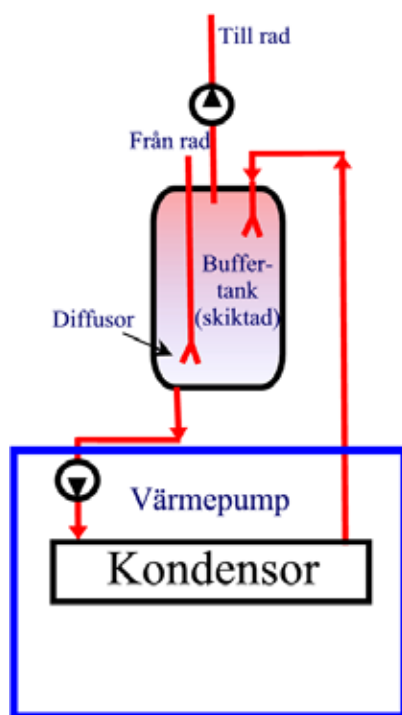
Inkoppling till värmepumpen

Det finns några olika huvudtankar när man kopplar in en värmepump. En vanlig inkopplingsvariant är att värmesystemet med sin cirkulationspump får bilda en egen sluten slinga som vid värmepumpen har två T-kopplingar efter varandra (Fig. 38). I den första T-kopplingen tas ett returflöde in till värmepumpen och i den andra T-kopplingen skickar värmepumpen ut varmt vatten. När värmepumpens värmebärarpump stannar, fortsätter vattnet att cirkulera genom radiatorerna och en viss temperaturutjämning uppstår.



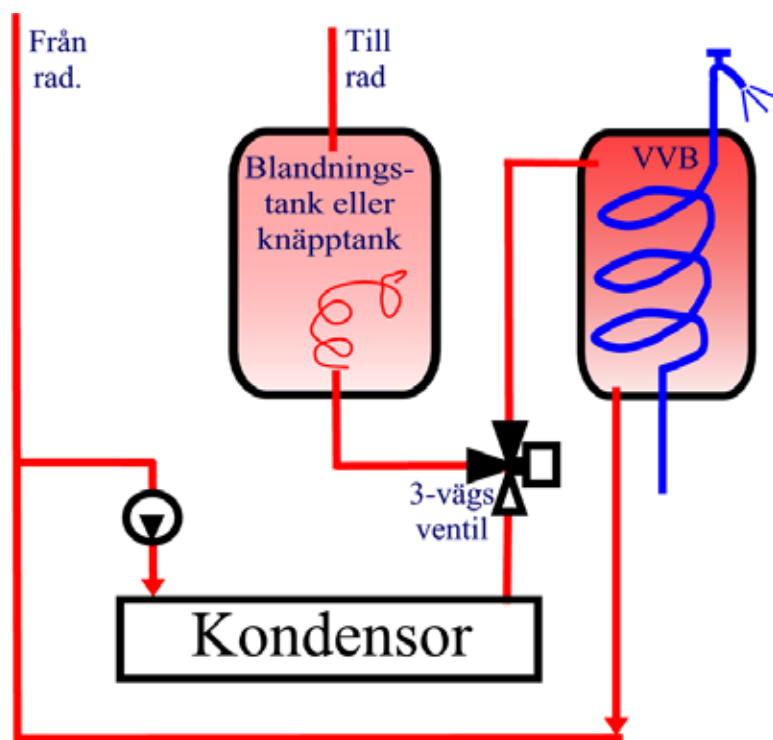
Figur 38. Inkoppling med grenledning till kondensorn (vattenflödena q_{rad} och q_{vp} skall vara ungefär lika stora).

Ibland utförs detta tekniskt i form av en bufferttank med fyra anslutningar (Fig. 39). Även vid denna koppling är det väsentligt att värmesystemets vattenflöde och värmepumpens flöde är ungefär lika stora, så att inte vatten av olika temperatur blandas ty det ger effektivitetsförluster. Om värmepumpen tvingas skicka ur väsentligt varmare vatten än det vatten som går ut på radiatorerna - kan det hända att elpatronen måste gå in för att onödigtvis toppa temperaturen. Utjämnningseffekten ovan, genom den fortsatta cirkulationen, förstärks med bufferttanken i värmesystemet. Inloppen i denna bör förses med diffusorer ("omvända trattar"), som sänker vattenhastigheten och därmed bevarar skiktningen i tanken.



Figur 39. Inkoppling med skiktad bufferttank

En vanlig åkomma i värmesystem är att knäppningar uppstår i rören när temperaturen ändras. Detta blir ibland mindre besvärande om cirkulationen upprätthålls konstant i systemet. Så kallade "knäpptankar" installeras ibland för att minska de termiska spänningsvariationerna i rören, som ger upphov till "knäppningar" i huset (Fig. 40). Den kan då utföras som ett "förtjockat" rör där själva idén är just att åstadkomma en omblandning i tanken. Med sådana tankar kan man minska de häftigaste temperatursvängningarna när värmepumpens växelventil slår om från tappvarmvattenvärmning till radiatoruppvärmning.



Figur 40. Inkoppling med "knäpptank"

När värmesystemet skall kopplas till värmepumpen är det viktigt att man inte skapar onödiga temperaturfall mellan värmepumpens uttemperatur och ledningssystemet. Ett shuntsystem, såsom det förekommer vid konventionella värmepannor är, som tidigare nämnts, helt förkastligt, eftersom ett stort temperaturfall oftast råder mellan pannan/värmepumpen och värmesystemet. Enklarest är att direkt ansluta framledningen till "VÄRME UT" på värmepumpen och returledningen till "VÄRME IN". Eftersom värmepumpen arbetar med on/off-styrning kommer värmesystemets temperatur att stiga när värmepumpen går och sedan sjunka under värmepumpens stilleståndsperioder. Värmepumpar med kapacitetsreglering (varvtalsstyrd kompressor) kan anpassa sin uteffekt efter värmebehovet inom ett visst område (2000-5800 rpm hos kompressorn), och kan ge i stort sett kontinuerlig drift under långa perioder.

Injustering av systemet

Ändamålet med injusteringen är att hitta en kurvinställning på värmepumpens styrenhet, som ger så låg framledningstemperatur som möjligt med bibehållen värmekomfort. Därigenom får värmepumpen optimal värmefaktor.

Innan man gör några injusteringsåtgärder bör man göra en del grundläggande kontroller:

- Gör ren förekommande silar i systemet. Moderna värmepumpar har ofta silar monterade i både borrhåls- och värmekrets för att förhindra att små partiklar kommer in i värmepumpen och sätter igen värmeväxlarna. Dessa silar bör göras ren en gång årligen och kanske oftare om värmepumpen är nyinstallerad i värmesystemet. Silarna är ofta hopbyggda med en avstängningsventil med silen i ventilens centrum.
- Lufta radiatorerna och andra högpunkter, som kan finnas i systemet.
- Dammsug radiatorerna, speciellt baksidan.
- Dammsug konvektorer och gör ren förekommande filter.

- Se till att radiatorerna står fritt. Häng tunga gardiner åt sidan. Flytta undan möbler som står tryckta mot radiatorerna och ta bort skärmar och liknande kring dessa. En tät skärm framför radiatorn kan minska värmeeffekten med 10 % eller mer. Som namnet antyder utgör värmestrålningen från radiatorerna en väsentlig del av värmeöverföringen till rummet. Måla inte radiatorerna med färg innehållande metallpigment (silverfärg och liknande). Svart eller vit färg spelar däremot ingen roll.
- Vid golvvärmesystem bör man undvika att ha tjocka mattor på golvet.

Nu kan vi börja justera!

De flesta styrsystem för värmepumpar och värmesystem arbetar med någon form av anpassning mellan värmesystemets temperatur och värmebehovet. Vanligtvis styrs värmesystemets temperatur av utetemperaturen efter en värmekurva som t.ex. ger 32 °C i radiatortemperatur vid 0 °C utomhus och 40 °C vid -20 °C ute (Fig. 41). I styrsystemet, som vanligtvis sitter i värmepumpen, går det att välja vilken kurva som skall användas och man får då pröva sig fram till lämplig kurva. Kurvorna har olika lutning och som synes stiger en kurva med stor lutning snabbare när utetemperaturen sjunker. Vanligtvis finns två möjligheter till manuell inställning, dels kurvlutningen, dels kurvans höjdläge med bibehållen lutning. Kurvlutningen bestämmer i huvudsak framlednings- alternativt returtemperaturen (beroende på vilkendera värmepumpen styr) när det är kallt ute, medan kurvans höjdläge har dominerande inverkan när utetemperaturen överstiger +10 °C. Värmeeffekten från en radiator ökar något snabbare än temperaturskillnaden mellan denna och rummet. Värmekurvan tar hänsyn till detta genom att vid lägre utetemperaturer böja av mot en lägre lutning. Man brukar använda följande formel för värmeeffekt som funktion av temperaturskillnaden mellan radiatorn och rummet, ΔT ,

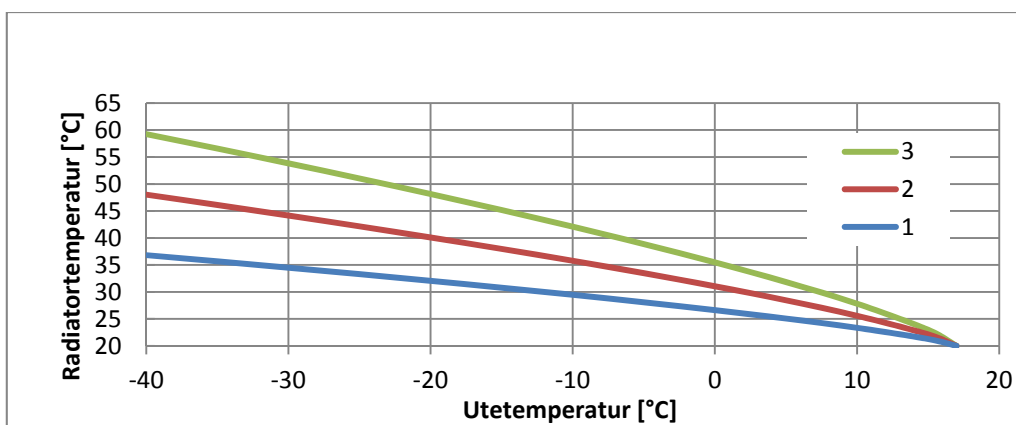
$$Q = konst * \Delta T^n \quad (2)$$

där Q = värmeeffekten, n = cirka 1,30 - 1,35 och konstanten kan beräknas ur radiatortabeller. Alternativt, om man har tillgång till data för radiatorns värmeeffekt vid en viss referenstemperaturskillnad, ΔT_{ref} , (exempelvis Tabell 4) kan ekvation 3 användas,

$$Q = Q_{ref} * \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_{ref}} \right)^n \quad (3)$$

där Q_{ref} = värmeeffekten vid ΔT_{ref} .

Värmekurvorna får i princip följande utseende. Kurva 1 kan anses motsvara ett utpräglat lågtemperatursystem, medan kurvorna 2 och 3 utgör exempel på värmesystem, som kräver högre temperaturnivåer.



Figur 41. Exempel på värmekurvor. En sådan anger vilken radiatortemperatur (medeltemperatur), som behövs vid en viss utetemperatur. Är värmesystemet ett lågtemperatursystem kan detta ha en kurva nära kurva 1 i grafen, medan ett system som kräver högre temperaturer motsvaras av en kurva, som ligger närmare kurva 2 eller 3. Ju lägre kurva, som kan väljas, desto effektivare blir värmepumpen. Som synes visar diagrammet ett läge där radiatortemperaturen blir 20 °C vid 17 °C ute (3-gradersregeln). Om huset är välisolerat eller har stor inre värmealstring, kan kurvsåran behöva sänkas så att radiatortemperaturen når 20 °C vid en lägre utetemperatur. Detta görs i värmepumpens styrsystem.

Det finns styrsystem som använder en rät linje (exponenten $n = 1,00$ i Ekv. 2 och 3) i stället för värmekurvor enligt diagrammet. I dessa fall finns ofta en möjlighet att manuellt "knäcka" linjen ställvis för att efterlikna en verklig värmekurva. Det kan vara lämpligt att göra detta för att underlätta trimningen och dessutom undvika övertemperatur vid utetemperaturer nära DUT.

För att finna lägsta möjliga kurv lutning får man prova sig fram under en kall period. Det är önskvärt att värmepumpen går oavbrutet under trimningen, välj därför ett tillfälle när värmepumpen arbetar nära sin brytpunkt (den utetemperatur vid vilken tillsatsvärme börjar kopplas in, vanligtvis mellan 0 och -10 °C i Mellansverige) och välj en kurva, exempelvis en som leverantören rekommenderar och ställ kurvans höjdläge på noll. Välj bort eventuell inverkan från rumstemperatur på styrningen. I det eller de rum, som brukar bli kallast, ställs radiatorventilen/-termostaten på max. Övriga ventiler bör åtminstone ökas något. Låt gå något dygn. Justera kurv lutningen med hänsyn till hur det blev i det kallaste rummet. Blev det för varmt väljs en kurva med lägre lutning och vice versa. Blev ett annat rum kallast, öka radiatorventilen till max i detta. Avvakta något dygn igen. Om temperaturen i något rum inte går att höja till önskat värde, öka då istället kurv lutningen något. Genom små justeringar av kurv lutningen finner man så småningom den kurv lutning vid vilken temperaturen i det kallaste rummet blir den önskade. Det kan vara lämpligt att samtidigt försiktigt justera ned värmen i de rum som får för hög temperatur (görs med radiatorventilen/-termostaten). Höst och vår, när temperaturen ligger över +10 °C och värmebehovet är litet, kan man senare justera kurvans höjdläge för att finna den inställning som ger önskad temperatur i det kallaste rummet under dessa förhållanden. Om man behöver justera höjdläget mycket, kan det vara nödvändigt att även justera kurv lutningen. Slutresultatet skall vara minst ett rum med fullt öppen radiatorventil. För gärna protokoll!

När man vill undersöka hur mycket en radiator "arbetar" skall man mäta temperaturen nedtill på denna och jämföra med temperaturen upptill. Är skillnaden stor är flödet i radiatorn nedstrypt. Är rummet samtidigt kallt, måste man försöka åtgärda strypningen, som exempelvis kan sitta i radiatorventilen eller -termostaten. Ibland sitter en strypskruv innanför en huvmutter nedtill på returledningens koppling till radiatorn. I värsta fall hindras flödet av igensättningar i radiatorn eller i ledningarna.

Vad gör man när det inte funkar

Vid värmesystem, som inte är byggda för att vara ett lågtemperatursystem, kan man råka ut för att vid kallt väder blir framledningstemperaturen för hög för värmepumpen, som knappast orkar med längre än till 55 °C på framledningstemperaturen. (Det finns dock värmepumpar byggda för att klara 60 °C och kanske lite till.) Helt klart är dock t.ex. att ett 80/60-system är olämpligt i värmepumpsammanhang. Lyckligtvis har man i de flesta fall dimensionerat systemet med säkerhetsmarginal på radiatorstorlekarna så att ett 80/60-system i själva verket kanske blev mera av ett 60/45-system. Ett sådant system kan klara sig hjälpligt tillsammans med en värmepump och där exempelvis en elkassett går in vid stark kyla. När man överväger att skaffa bergvärme är det mycket lämpligt att först skaffa sig uppfattning om vilken framledningstemperatur, som behövs den kallaste dagen. Har anläggningen redan innan installationen en modern shuntauomatisk med olje-, el- eller bränslepanna går det att ta reda på vilken värmekurva som används och med hjälp av denna finna den framledningstemperatur, som behövs vid DUT. Observera dock att många värmepumpar styr på returtemperaturen och då måste man korrigera för detta.

Det finns ett antal åtgärder man kan göra för att minska behovet av hög framledningstemperatur. Ett effektivt sätt är att förbättra husets värmeisolering genom att t.ex. att öka värmeisoleringen på vinden samt täta fönster och dörrar. Vid kopplade tvåglasfönster kan man överväga att byta innerrutan till lågemissionsglas eller limma på en extra glastruta på insidan om inte helt fönsterbyte är aktuellt (varvid lågemissionsglas för innerrutan bör övervägas). Det bör påpekas att isoleringsförbättringar ger en tvåfaldig effekt, dels minskar värmebehovet och dels sjunker erforderlig framledningstemperatur.

Om ett eller ett par rum är påtagligt kallare än andra kan man överväga att byta till större radiator i dessa rum eller montera en radiatorfläkt som förbättrar värmeövergången vid radiatören. Det senare är en liten fläktlåda som monteras under radiatören och blåser luft upp mot och förbi radiatören (se även avsnittet "Trimma din värmepump").

Man kan också överväga att sätta in en fläktkonvektor i ett utrymme med en öppen förbindelse till andra rum, t ex en trapphall eller motsvarande.

Det kan även finnas en risk att vattenflödet är snedfördelat så att någon radiator långt bort i värmesystemet inte får ett tillräckligt vattenflöde. Detta kan exempelvis inträffa om ett äldre själv-cirkulationssystem har byggts till med ny rördragning med klenare rör. Genom temperaturmätning på radiatorerna och då framförallt titta på temperaturerna i radiatorns underkant kan en sådan situation analyseras och rättas till. En termometer för beröringsfri temperaturmätning, IR-termometer, kan vara praktisk att använda och finns nu att köpa för några hundra kronor.

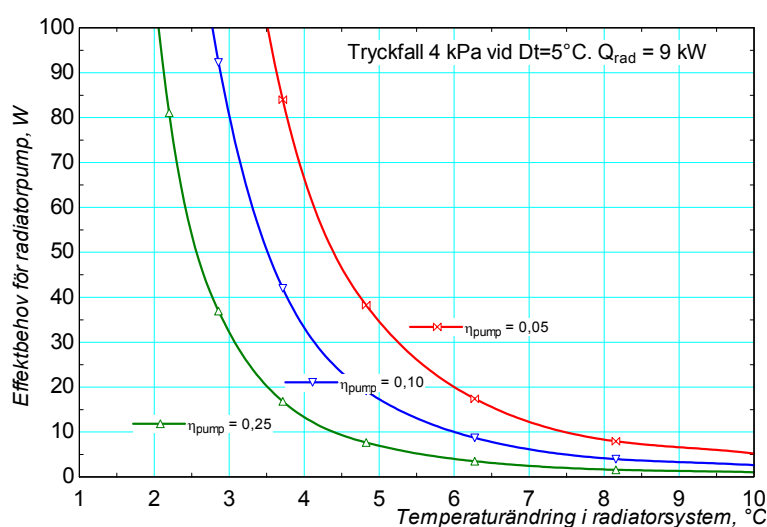
Inverkan av flöde i radiatorkrets

Eric Granryd

Man har stor frihet att välja flöde i radiatorkretsen. Det här avsnittet skall visa exempel på hur flödet inverkar på driftförhållanden och värmefaktor för ett typiskt villavärmesystem. Istället för att ge flödet i m³/sekund kan flödet i radiatorsystemet enklare karakteriseras av vilken temperaturändring som värmesystemet ger upphov till vid drift. Stort flöde ger liten temperaturändring. Det förutsätts här att det är samma flöde i värmepumpens kondensor som i radiatorsystemet. Det är oftast inte lämpligt att använda någon form av shunt eftersom det innebär att man blandar vatten av olika temperaturer, och detta ger alltid upphov till (exergi-)förluster.

Moderna cirkulationspumpar kräver betydligt mindre elenergi för driften än gamla pumpar. Energimyndigheten har låtit pröva ett antal olika och resultaten visar att det är stora skillnader i energibehov mellan pumparna. En pump från 1970-talet har som förväntat högst energibehov och drar ungefär *dubbelt så mycket el som de sämsta* av de nya pumparna. Jämfört med en gammal pump från 70-talet minskas elbehovet till mindre än en femtedel med en *bra modern* (2012) pump. I ett gammalt system är ofta cirkulationspumpen i drift dygnet runt, året om och en gammal pump drar då ca 1000 kWh/år, dvs en avsevärd del av ett hushålls energibehov. En gammal pump hade en verkningsgrad av ca 5 % medan en bra modern cirkulationspump har ca 25 %.

Ju större flöde som används desto större pumpeffekt krävs teoretiskt. Detta illustreras för ett exempel i Figur 42. Här har i första hand tryckfall i kondensorn tagits med och data ska bara ses som en illustration. Den gröna kurvan exemplifierar elbehovet för en modern cirkulationspump med 25 % verkningsgrad, den röda ger motsvarande för en 70-talspump. Emellertid varierar verkningsgraden med flödet och kurvorna ska bara ses som illustration av tendenser.



Figur 42. Idealt effektbehov för cirkulationspumpar med totala verkningsgrader 5 till 25 %.

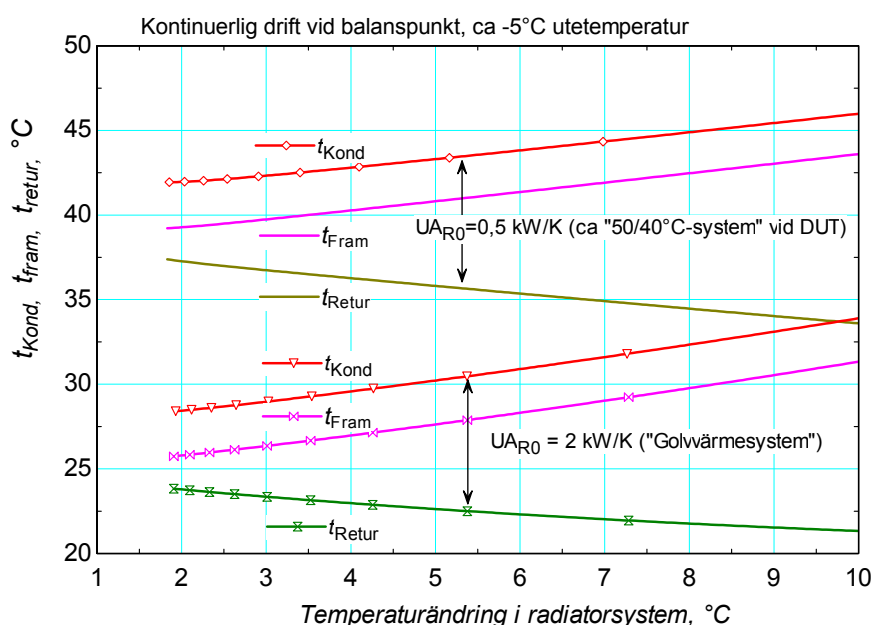
En modern radiatorpump är således betydligt effektivare, och fordrar betydligt mindre effekt för driften än tidigare. Oavsett detta är det för att spara energi lämpligt att stoppa radiatorpumpen då den inte behövs. Under sommarperioden kan radiatorpumpen lämpligen stå men det rekommenderas att programmera driften så att den startas några minuter med vissa intervall, t ex en gång i veckan för att undvika att den kärvar när den startas. Även under perioder med låg last då värmepumpen står långa tider kan det vara fördelaktigt att låta radiatorpumpen köras intermittent.

Flödet i radiatorkretsen påverkar temperaturändringen på vattnet, dvs. skillnaden mellan fram- och returledningarnas temperaturer. Det påverkar därmed värmeövergången till rumsluften från radiatorerna liksom kondenseringstemperaturen. Figurerna 43 till 46 visar beräkningsresultat för ett typiskt fall där värmepumpen går kontinuerligt, vilket motsvarar drift i systemets balanstemperatur.

(Vid utetemperaturer över balanstemperaturen går värmepumpen intermittent ("on-off") såvida den inte har en kontinuerlig kapacitetsstyrning. Då värmepumpen startar efter en "stå-period" (i on-off-drift) kommer returtemperaturen (liksom övriga temperaturer) att vara lägre än i de fall som visas i diagrammen men efterhand värms systemet upp under driften och värmepumpen fortsätter att arbeta tills styrsystemet ger signal att temperaturerna nått nivåer som passar för aktuell utetemperatur.)

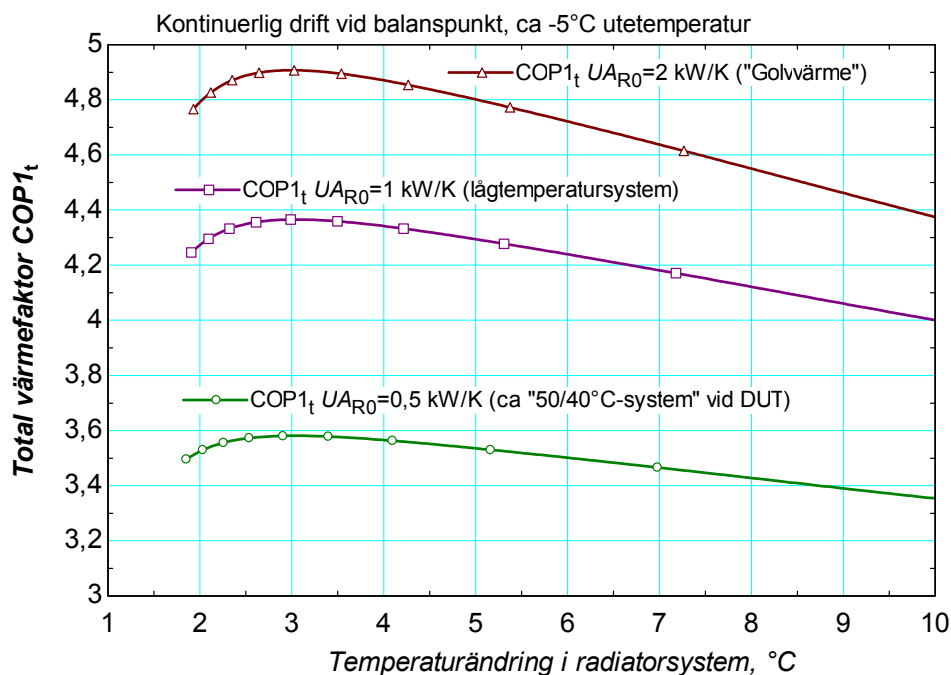
Figur 43 visar exempel på temperaturer i kondensor och i radiatorsystemets fram- och returledning. Kurvor visas för två fall med olika karakteristik för värmeövergång mellan radiatorsystem och rumsluft. De övre tre kurvorna avser ett typiskt fall där radiatorerna kräver ungefärligen 50/40°C i fram- resp. returledning vid dimensionerande utetemperatur (typiskt ca -18°C i Mellansverige). De undre tre kurvorna gäller approximativt för ett golvvärmesystem. Det framgår att framlednings- och returtemperaturerna i radiatorsystemet påverkas relativt kraftigt av flödet i radiatorkretsen och det gör även kondenseringstemperaturen.

Kurvorna visar, som nämnts, temperaturer som kan väntas råda vid kontinuerligt drift, vilket i praktiken motsvarar drift vid en utetemperatur som svarar mot systemets balanstemperatur. Vid lägre utetemperaturer behövs tillsatsvärme för att täcka husets behov och temperaturerna i radiatorsystemet blir då högre än vad som framgår i Figur 43.



Figur 43. Framlednings- och returtemperaturer radiatorkretsen samt kondenseringstemperatur vid kontinuerlig drift med olika flöden i radiatorkretsen. Resultat visas för olika värmedistributionssystem med olika värmeavgivningsförmåga. Ett högre flöde ger lägre temperaturändring, dvs. en förflyttning åt vänster i diagrammet.

Figur 44 visar inverkan på totala värmefaktorn (i vilken effektbehoven för kompressor och för pumpar både på kalla och varma sidan inräknats). I figuren finns tre fall illustrerade, dels samma två fall som i Figur 43 (50/40°C-system och golvvärmesystem) dels också ett tredje fall med ett system med lågtemperatur som här ungefär motsvarar radiatorsystem med temperaturer 40/30° vid DUT. Det framgår tydligt hur fördelaktigt det är att använda effektiva värmedistributionssystem som kräver låga temperaturer.

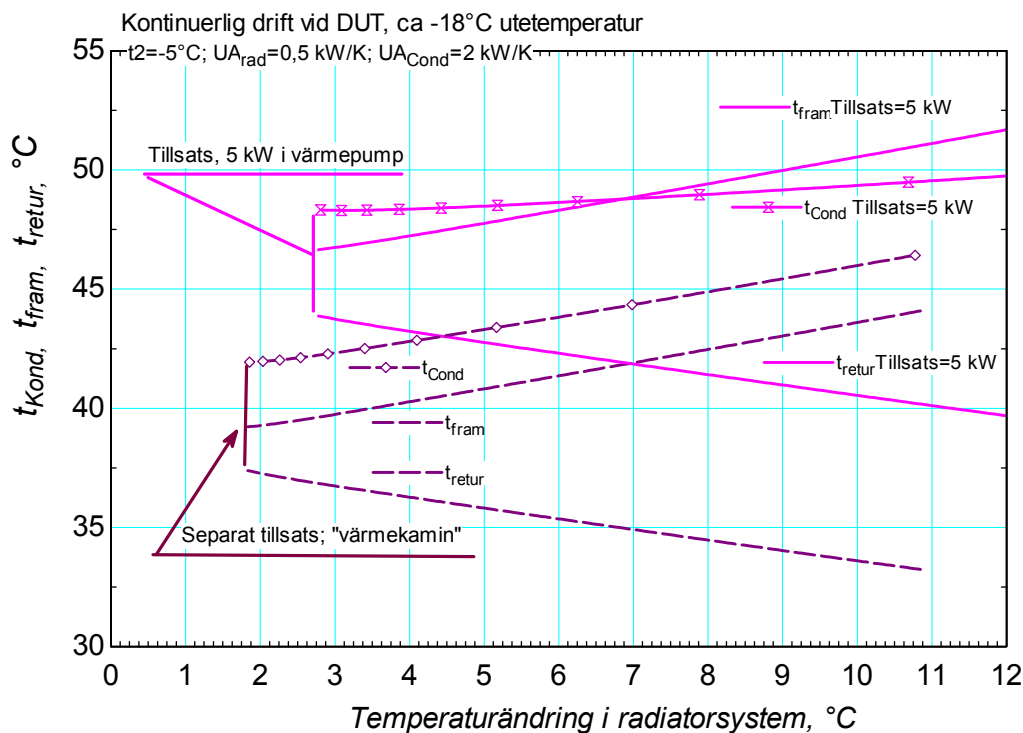


Figur 44. Total värmefaktor vid olika värmedistributionssystem vid kontinuerlig drift med olika flöde i radiatorsystemet förutsatt en modern cirkulationspump. Med de förutsättningar som gäller i detta exempel är ett flöde som ger ungefär 3°C temperaturändring optimalt.

Av figuren kan man se att bästa totala värmefaktor uppnås vid temperaturändringar omkring 3 °C både för golvvärmesystem och vid konventionella radiatorsystem förutsatt att en modern cirkulationspump (med 25 % verkningsgrad) används. Till stor del påverkas optimet av hur flödet påverkar värmeövergångsförmågan i värmepumpens kondensor. Här har förutsatts att kondensorn har en medeltemperaturdifferens = 4,5° vid ett flöde på vattensidan som motsvarar 5°C temperaturändring (ett UA-värde ca 2 kW/K), att värmemotstånden på vattensida och köldmediesida då är lika stora, samt att flödet på vattensidan är turbulent. Det bedöms vara någorlunda normala värden men vid stora avvikelser från de antagandena påverkas optimet. Med en äldre cirkulationspump (säg 5 % verkningsgrad) förskjuts optimet till en temperaturändring av ca 4 á 5°C, ungefär lika för alla fallen som visats.

Drift med tillsatsvärme

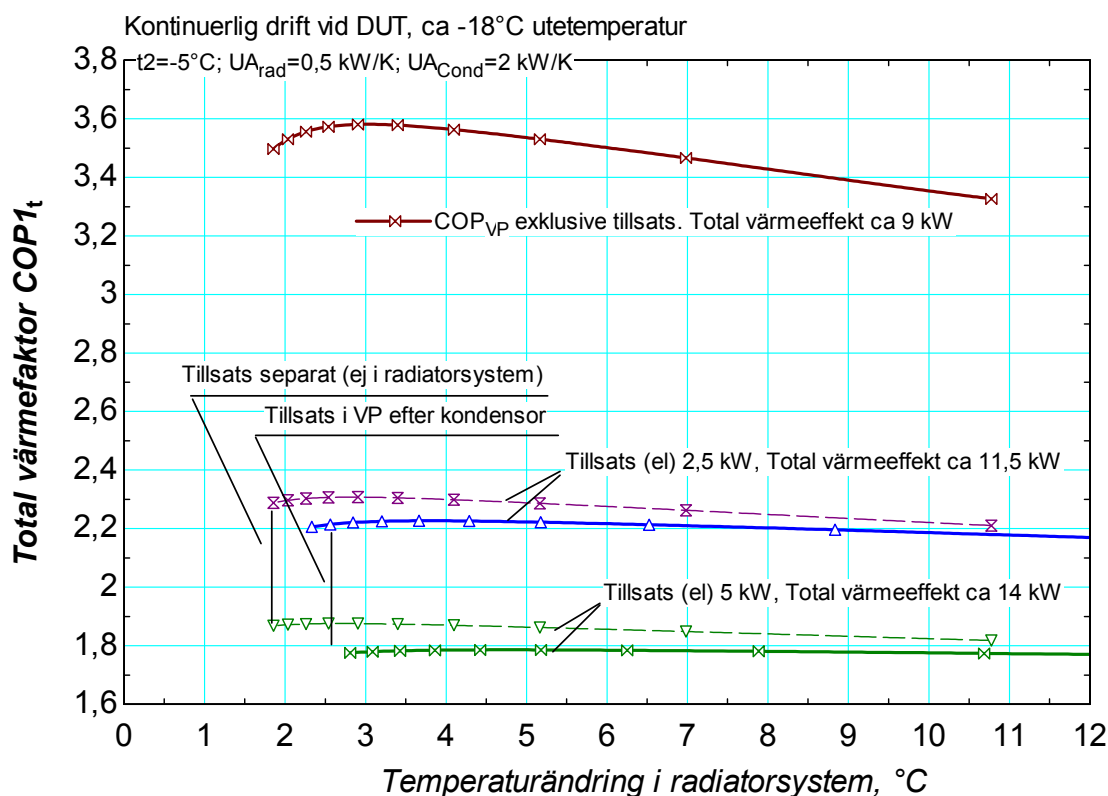
Vid utetemperaturer under balanspunkten behövs som nämnts någon form av värmetillsats för att hålla en oförändrad rumstemperatur. Det är fördelaktigt att *inte* "belasta" radiatorsystemet med tillsatsvärmekällans effekt. Exempel på sådana arrangemang är att använda en kamin eller öppen spis som sprider värme direkt till rumsluften. Det allra vanligaste är emellertid att en tillsatsvärmekälla integreras direkt i värmepumpen. Det är i det fallet viktigt att tillsatsvärmekällan kopplas efter värmepumpen.



Figur 45. Exempel på temperaturer i radiatorsystem och kondensor dels för ett fall med tillsatsvärme som kopplas in efter kondensorn i värmepumpen, dels för ett fall där tillsatsen inte är inkopplad i radiatorsystemet (typ separat värmekamin).

Figur 45 visar temperaturer i radiatorsystem och i kondensor dels för fall med värmetillsats inkopplad efter värmepumpens kondensor, och dels för fall med en separat värmekamin som alltså inte "belastar" radiatorkretsen (eller för fall utan tillsats). För fallet där tillsatsvärmekällan är inkopplad efter kondensorn kan framledningstemperaturen bli högre än kondenseringstemperaturen (i exemplet inträffar det om temperaturändringen i radiatorsystemen är större än ca 7°C).

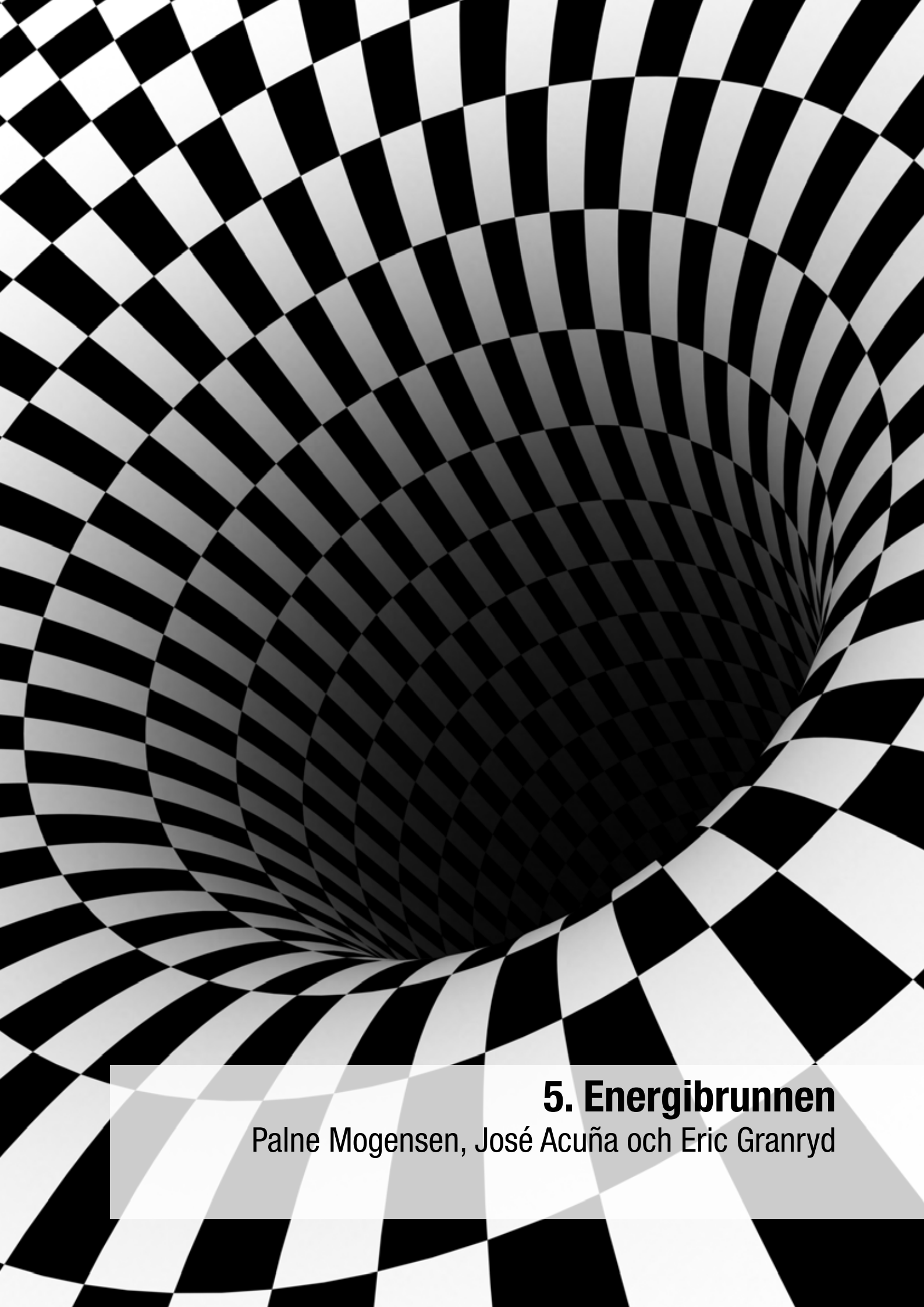
Exempel på total värmefaktor för några olika fall med tillsatsvärme visas slutligen i Figur 46. För det första framgår att den totala värmefaktorn naturligtvis försämrars radikalt när någon form av tillsatsvärme kopplas in.



Figur 46. Exempel på total värmefaktor för värmepumpen samt för två fall med tillsatsvärme i olika arrangemang. (Radiatorsystem dimensionerat för 50/40°C vid DUT -18°C har förutsatts.)
 Det förutsätts att energikostnaden för tillsatsen är den samma som el-kostnaden för värmepumpdriften och den totala värmefaktorn är därför här definierad som

$$P_{1,\text{tot}} = \frac{Q_{\text{Kondensor}} + Q_{\text{tillsats}} + E_{\text{Radpump}}}{E_{\text{Kompressor}} + Q_{\text{tillsats}} + E_{\text{Vbpump}} + E_{\text{Radpump}}}$$

För fall med tillsatsvärme som *inte* utnyttjar radiatorsystemet är det fördelaktigt med samma flöde som tidigare, dvs. med ca 3°C temperaturändring. För system där tillsatsvärmekällan kopplas in i radiatorsystemet (efter kondensorn) kan man ana att det är fördelaktigt att dra ner flödet i radiatorkretsen något så att temperaturdifferensen blir större. Litet flöde medför att returtemperaturen blir lägre vilket gynnar värmepumpens värmefaktor. Enligt Figur 46 förefaller en temperaturändring på, säg, 5°C vara lämpligt för detta fall, men skillnaden är högst marginell.



5. Energibrunnen

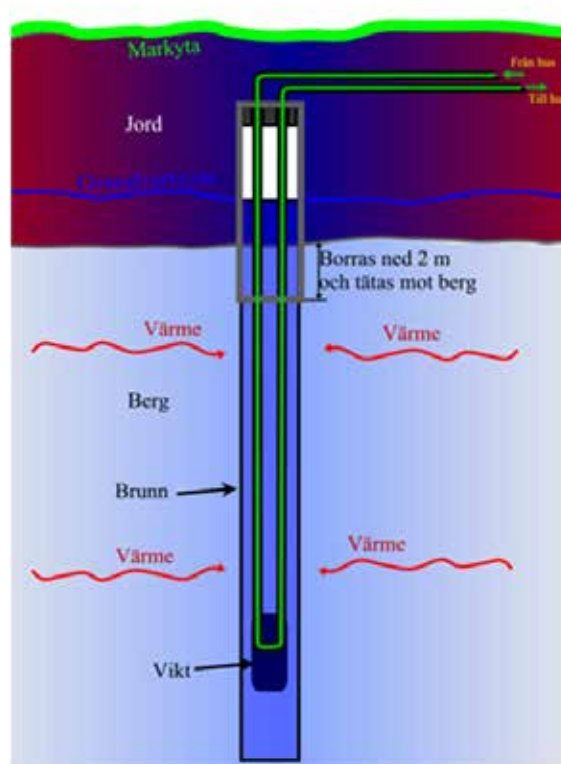
Palne Mogensen, José Acuña och Eric Granryd

5. Energibrunnen

Palne Mogensen

Berg som värmekälla

Rubriken är egentligen inte helt korrekt, eftersom det ytterst är solen som är värmekällan. Berg har en god förmåga att lagra värmeenergi, vilket utnyttjas för bergvärmepumpar. Värmen kan tas ut genom att borra ett eller flera borrhål, i vilka man sätter ned en värmeupptagande kollektor. Denna består vanligtvis av två plaströr hopfogade nedtill så att ett U bildas, en U-rörskollektor. Genom kollektorn cirkuleras en frysskyddad vätska (köldbärare), som transporterar värmen till värmepumpen. Den uttagna värmen måste på något sätt återföras till berget, eftersom berget endast kan lagra, inte alstra värme. För borrhål, som inte har konkurrens från andra borrhål, sker återföringen naturligt genom att värme strömmar från markytan ned till borrhålets omgivning. Man kan således säga att berget lagrar solvärme - i vid bemärkelse - som sedan tas ut under vintern med hjälp av värmepumpen.



Figur 47. Energibrunn borrar i fast berg. Hålets överdel går genom lösa jordlager och skyddas med ett foderrör från att rasa igen eller förorenas. Foderröret borrar ned minst 2 m i berget och cementeras fast. I hålet hänger en U-rörskollektor med vikt nedtill för att underlätta insättningen. Kollektorn förses med en tät-manschett upptill i foderröret och kopplas sedan till värmepumpen i huset.

Finns flera värmeupptagande borrhål i närheten, och hålen står tätt, kan det inträffa att markytan och berget därunder inte helt räcker till för att leda ned den värme, som behövs för återladdningen. Då kan bergets temperatur så småningom sjunka så mycket att man i en framtid måste återföra värme direkt till borrhålet. Mer om detta senare.

Bergets egenskaper

Den svenska berggrunden är i allmänhet ett utmärkt värmelager för värmepumpar. Detta gäller i synnerhet bergarter med hög kvartshalt såsom granit och gnejs. Viktiga egenskaper är framförallt bergets värmeledningsförmåga och dess specifika värmekapacitet. Ett par praktiska synpunkter kommer också in, såsom att det går att borra utan större problem och att det inte är alltför djupt ned till grundvattnet. Om berget är mycket sprickigt eller har krosszoner kan svårigheter uppstå att borra genom att hålet ställvis kan rasa igen.

Värmeledningsförmågan är till stor del beroende av bergets kvartshalt och granit, som är den vanligaste bergarten i Sverige, har en värmeledningsförmåga kring $3,5 \text{ W/(mK)}$. Temperaturen vid markytan följer den rådande väderleken. Genom bergets stora värmetröghet utjämnas temperaturvariationerna snabbt mot djupet och efter ett par meter har alla hastiga växlingar, dygnsvariationer och motsvarande, dämpats ut. På ca 15 m djup har även årstidsvariationen i bergets temperatur i stort sett försvunnit och det ostörda berget håller i det närmaste konstant temperatur året om; något över ortens årsmedeltemperatur. På snörika platser blir bergets temperatur högre på grund av snöns isolerande inverkan på vintern och man brukar räkna med att bergets temperatur ökar med 1 grad för 100 dagars snötäcke.

Temperaturen i jordens inre är hög och bergets temperatur stiger därför mot djupet. Värmeflödet underifrån, det geotermiska värmeflödet, uppgår i Sverige till $35 - 75 \text{ mW/m}^2$, vilket ger en temperaturhöjning av ca 10-30 grader per km mot djupet. Denna storhet brukar kallas den geotermiska gradienten. I områden med gammal tätbebyggelse finns ofta en liten puckel på temperaturkurvan orsakad av värmetillförsel genom vatten- och avloppsledningar samt bebyggelsen.

Berg är påfallande värmetrögt, vilket yttrar sig som att det tar lång tid för en värme- eller köldpuls att sprida sig. Som exempel kan nämnas att ett normalt värmeuttag, som pågått i ett borrhål under 1 år, har sänkt bergets temperatur med mindre än 0,02 grader vid en radie av 20 m från borrhålet och knappast märks bortom denna. Efter 10 år når uttagspulsen inte längre än ca 60 m ut från hålet. Temperatursänkningen är hela tiden störst närmast hålet och man brukar tala om en temperatursänkningstratt runt hålet. Detta är helt analogt med att vattennivån sjunker mest närmast en brunn när man tar ut vatten ur denna. En liknande effekt syns också när man gräver ett hål i torr sand och sanden närmast hålet rasar ned i detta.

Om berget genomströmmas av grundvatten kan detta yttra sig som en skenbar ökning av värmeledningsförmågan och är således gynnsamt. Det är dock ovanligt med strömmande grundvatten i sådan mängd att det får mer än marginell betydelse för borrhålets prestanda.

Beskrivning av borrhålet

Värmekällan till en bergvärmepump består av ett eller flera borrhål, i vilka sitter en bergvärmekollektor, som samlar in värme från berget. Kollektorn består vanligtvis av 2 (ev. 3 eller 4) plaströr, hopkopplade nedtill, genom vilka en köldbärare pumpas i slutet kretslopp med värmepumpen. Köldbäraren består av vatten med tillsats av något frysskyddande ämne, exempelvis etanol, etylenglykol eller kaliumkarbonat. Borrhålet, som oftast är mellan 100 och 250 m djupt, görs med hjälp av sänkhammarbörning, en metod där själva borrhammaren sitter längst fram på borrsträngen, som successivt arbetar sig ned i berget. Borrsträngen består av sammangängade stålrör i tre-meterslängder genom vilka tryckluft leds ned till borrhammaren. Det lossborrade materialet (borrkaxet) blåses upp ur hålet av den avgående tryckluften tillsammans med eventuellt inströmmande vatten. Borrsänkningen (borrhastigheten) kan typiskt vara 0,5 - 1,0 m/min, men en stor del av tiden "förloras" på ihop- och isärkoppling av rören till borrsträngen. Den översta delen av borrhålet passerar oftast genom lösa jordlager och där måste man sätta ett foderrör av stål för att inte hålet ska rasa igen. Foderröret borrar ned till fast berg och därefter, enligt bestämmelserna i Normbrunn 07, ytterligare 2 m ned i detta och cementeras fast för att hindra att ytvatten förorenar grundvattnet. Bestämmelserna kräver också att foderröret skall nå ned minst 6 m

från markytan. Borrhålsdiametern är oftast 115 eller 140 mm. Borrmaskinen kan typiskt väga 10 ton och går på larvfötter. Tryckluft till borrhammaren kommer genom en slang från en stor kompressor som levererar tryckluft vid 2,0 - 3,5 MPa (20 - 35 bar) övertryck.

När borrhålet är klart och de vätskefyllda kollektorslangarna har satts ner i hålet, förseglas borrhålstoppen med ett tätslutande lock (många kommuner kräver ett utförande enligt Normbrunn-07) och kan sedan täckas med jord efter det att slangarna till värmepumpen kopplats. Skall borrhålstoppen eller slangarna kunna köras över, bör de förses med någon form av skydd. Slangarna grävs ned och förs in i huset antingen direkt genom husväggen eller en bit upp ovan markytan¹⁴. Brunnens läge skall enligt bestämmelserna markeras med skyltar på fasaden som anger avstånd och riktning till borrhålstoppen.

När en anläggning kräver flera borrhål, placeras borrhålstopparna oftast några meter från varandra och hålen gradas (lutas) från varandra, så att de mot djupet får större avstånd mellan sig. Detta för att minska den inbördes störningen mellan dem.

Kommunerna kräver undantagslöst tillstånd för energiborrning och har bestämmelser för hur nära tomtgränsen man får borra, vilket minsta avstånd som krävs till grannarnas borrhål m.m. Kontakta alltid kommunens miljökontor i god tid innan Du borrar. Det kan ta flera veckor att få ett tillstånd.

Aktivt borrhålsdjup

Vid borrning i berg påträffas nästan alltid grundvatten på 2-7 m djup, men här spelar terrängformen in så att i en lågpunkt kan t o m grundvattnet "rinna över" (artesiskt vatten) medan på högpunkter det kanske kan vara 10-30 m till grundvattnet. Grundvattennivån varierar i allmänhet med årstid och nederbörd. Krav på att borrhålet skall återfyllas efter installation av kollektorn finns knappast i Sverige, men är vanligt utomlands. Vid lågt grundvatten kan det dock vara motiverat att återfylla för att förbättra värmeövergången i hålets överdel. Kollektorslangar som står i luft kan endast ta upp försumbara värmemängder, men genom återfyllning med finkornigt material kan vattennivån fås att stiga genom kapillärverkan i återfyllnadsmaterialet. Använd dock inte tjälfarligt material vid återfyllningen, men gärna ett med hög värmeledningsförmåga (hög kvartshalt)! Den del av kollektorn, som ligger under vattennivån eller är återfylld, kallas aktivt borrhålsdjup, vilket är en viktig parameter (faktor) vid dimensioneringen. Vid flera borrhål till en och samma anläggning skall borrhålens sammanlagda aktiva borrhålsdjup läggas samman efter korrektion för deras inbördes påverkan.

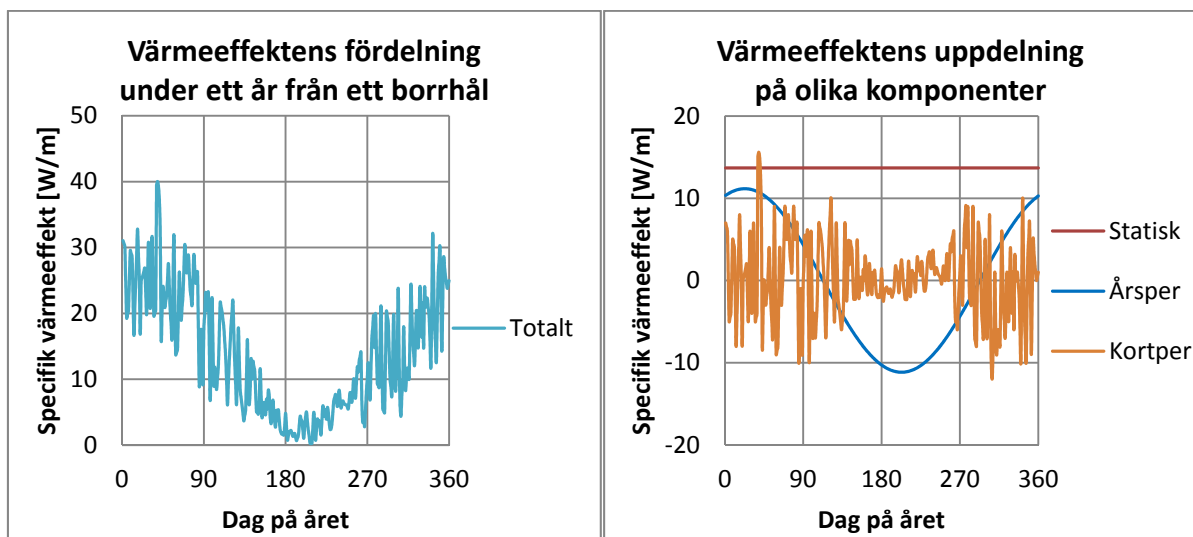
¹⁴ Se: RÅD & ANVISNINGAR för installation av etanolbaserade köldbärarsystem i villafastigheter, Bengt Olsson på uppdrag av Svenska Värmepumpföreningen januari 2007

Värmeuttag och återladdning

När värme tas upp ur ett borrhål sjunker naturligtvis bergets temperatur så småningom. Temperatursänkningen blir beroende av värmebelastningen och det aktiva borrhålsdjupet samt bergets egenskaper. Ju högre värmeledningsförmåga och specifik värmekapacitet berget har, desto långsammare sjunker temperaturen vid samma värmebelastning. Omvänt, en hög värmebelastning per meter borrhål, ger snabbare temperatursänkning. Borrhålets diameter har liten inverkan och det är i princip enbart den aktiva borrhålslängden, som har inflytande. Vid värmeuttag, när temperaturen sjunker kring borrhålet, kommer värme från omgivningen att ledas dit och förse kollektorn med värme. Till att börja med tas värme ifrån borrhålets närmaste omgivning, men allteftersom tiden går, kommer värme att hämtas längre och längre ut från borrhålet. Efter en viss tid har värmeffödet i stort sett ställt in sig på ett fortvarighetstillstånd (tillståndet är konstant över tiden) och värmen kommer då huvudsakligen från markytan samt en mindre del från det geotermiska värmeffödet. Man kan säga att borrhålet i detta fall återladdas naturligt. Detta tillstånd uppnås först efter lång tid och det tar typiskt ca 50 år för temperaturfältet kring ett 150 m djupt borrhål att närma sig detta tillstånd. Trots att det tar så lång tid att närma sig fortvarighet, kommer borrhålets temperatur att redan efter ett år att ha sjunkit med ca 80 % av sitt slutvärde. Efter ett par år sjunker inte borrhålets medeltemperatur synbart längre; variationer i värmeuttaget mellan olika uppvärmningssäsonger tar överhand.

Det ovan sagda avser ett ensamt borrhål utan störande värmeuttag inom säg 100 m radie från hålet. Om borrhålet omges av ett eller flera andra närliggande borrhål blir situationen annorlunda. Efter en tid börjar borrhålen störa varandra och resultatet blir - i stället för att temperatursänkningen till synes upphör efter ett par år - kommer den att fortsätta och strävar då mot en temperatur som kan ligga långt under nollpunkten om flera borrhål ligger mycket nära varandra. Mer om detta senare.

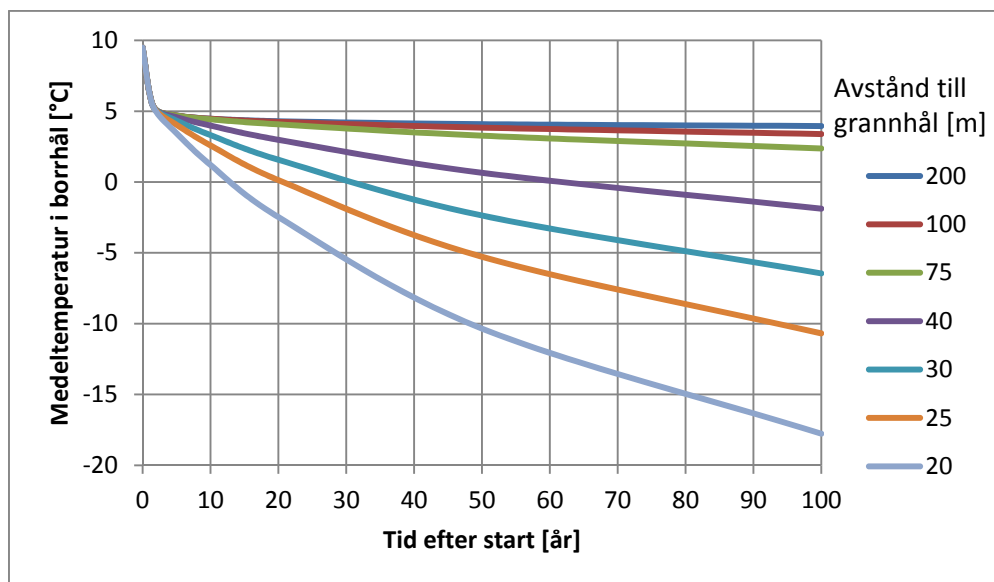
En intressant och användbar egenskap hos temperaturförlopp i berg är att ett värmefföde kan delas upp i olika komponenter, vars inverkan sedan kan adderas till varandra (superpositionsprincipen). Om vi tittar på ett värmeuttag som motsvarar uppvärmningen av ett hus, finner vi att på sommaren är värmeuttaget mycket lågt, i princip bara värmning av varmvattnet. Sedan under hösten ökar värmeuttaget för att bli som störst under vintern och slutligen under våren minskar det igen. Detta förlopp kan nu delas upp i ett konstant värmeuttag lika med medelvärdet under året, därutöver ett årsperiodiskt förlopp, en sinuskurva med medelvärdet noll, som sommartid i princip är nära lika med årsmedelvärdet minskat med värmeuttaget för varmvattnet, men med ombytt tecken och mitt i vintern når lika långt ned under nollinjen (Figur 48). Ovanpå detta finns en tredje komponent som svarar mot varma och kalla perioder med några dygns varaktighet, i fortsättningen kallad den kortperiodiska komponenten. Variationerna mellan natt och dag blir sedan en sista komponent, som vi oftast kan bortse från, åtminstone för hus med väggar av tunga material. De periodiska förloppen har samtliga medelvärdet noll (Figur 48).



Figur 48. Fördelning över ett år av specifika värmeeffekten från ett borrhål, dels totalt, dels uppdelat på den statiska, den årsperiodiska och den kortperiodiska komponenten. Observera det stora värmeuttaget vid dag 40 orsakat av en köldknäpp som når till DUT. Borrhålsdiameter 115 mm, aktivt borrhålsdjup 150 m, värmeledningsförmåga berg 3,5 W/mK, årligt värmeuttag 18 000 kWh, och ingen tillsatsvärme (all värme hämtas således ur borrhålet).

Genom bergets värmetröghet kommer periodiska förlopp endast att ha begränsad räckvidd ut från borrhålet. En årsperiodisk variation har en räckvidd för värmeuttaget som kan uppgå till ca 10 m ut från hålet. Snabbare periodiska förlopp kommer att få ännu mindre räckvidd och således kommer dessa inte att påverkas av grannhål eller påverka dessa, annat om de befinner sig extremt nära intill. Det är således endast det årliga värmeuttaget ur berget, som kan interferera med grannens värmeuttag. Något förvånande är att interferens mellan två borrhål inte märks förrän det ena hålets temperatursänkningstratt når det andra hålet. Att sänkningstrattarna möts mellan hålen och börjar gå in i varandra påverkar inte hålen temperatur!

Exempelvis har Stockholms stad och många andra kommuner en regel om att avståndet mellan det egna hålet och grannhål måste vara minst 20 m. Ett absolut värsta fall skulle då vara att det egna hålet är omgivet av 6 grannhål runtom på 20 m avstånd och dessa i sin tur omges av ytterligare hål på 20 m avstånd osv. Om vi tänker oss att en sådan anläggning ligger i stockholmstrakten och att samtliga hål är 150 m djupa, har ett årligt värmeuttag av 18 000 kWh och med en värmeledningsförmåga i berget av 3,5 W/mK, finner vi att hålets medeltemperatur efter det första året kommer att fortsätta sjunka med ca 0,3 grader per år, se Figur 49 nedersta kurvan. Ovanstående beräkningar bortser helt från inverkan från strömmande grundvatten. Som sagts tidigare är det ovanligt att detta kan få mer än en marginell betydelse.



Figur 49. Långsiktig temperatursänkning av medeltemperaturen hos hålväggen i ett borrhål som omges av 6 symmetriskt belägna borrhål (och utanför dessa ytterligare hål) som funktion av deras avstånd till centrumhålet. För samtliga borrhål gäller: Borrhålsdiameter 115 mm, aktivt borrhålsdjup 150 m, värmeledningsförmåga berg 3,5 W/mK och årligt värmeuttag 18 000 kWh. Det ostörda bergets temperatur är 9,5 °C och från inverkan av strömmande grundvatten bortses.

Detta låter i för sig inte mycket, men efter 10 år innebär det att borrhålsväggens medeltemperatur ligger runt 1 °C. Denna temperatursänkning ger en påtaglig försämring av värmepumpens driftförhållanden och man räknar med att den årliga besparingen kan minska med drygt 1 % för varje gradssänkning av köldbärartemperaturen. Som synes av diagrammet fortsätter temperatursänkningen med tiden och når så småningom så låga temperaturer att värmepumpsdrift är omöjlig. Ett ensamt borrhål i stockholmstrakten, se kurvorna för 100 och 200 m, kommer att få en medeltemperatur av ca 6 °C efter första året och som sedan inte sjunker mycket lägre än till 4 °C efter 50 år. Om vi vill ha en medeltemperatur över noll efter 50 år, får grannhålen inte ligga mycket närmare än 40 m. Märk väl att ovanstående beräkningar avser en ogynnsam situation där det egna borrhålet omges på alla sidor av grannhål på angivet avstånd.

Orsaken till att hålets medeltemperatur sjunker när grannhålen kommer nära, är att den tillgängliga markarean för återladdning minskar. Av symmetriskål disponerar det egna hålet endast den mark som finns halvvägs ut till grannhålen. Det temperaturfall, som krävs för fullständig återladdning, ökar när den tillgängliga markarean och volymen under denna minskar. Att göra borrhålet djupare hjälper föga, eftersom det kritiska området ligger kring hålets överdel. Med djupare borrhål blir dock den linjära värmebelastningen i borrhålet lägre så temperatursänkningen sker långsammare.

Vad kan man då göra åt detta? Svaret är återladdning, dvs. man måste tillföra en stor del av den värmemängd, som man tar ut per år. Detta görs lämpligen sommartid och kan göras med hjälp av någon enkel konvektor, som tar värme ur luften eller kanske en enkel slinga av plastslang på ett södervänt tak. I hus med fläktsystem kan värmen i frånluften användas för återladdning. Idealet är naturligtvis om huset har behov av kylning sommartid då kylan kan hämtas från berget. Lyckligtvis behöver återladdning inte bli aktuell förrän många år efter att borrhålet tagits i drift. Då har anläggningen förhoppningsvis förräntat sig så pass att det finns utrymme för en sådan ytterligare investering.

På vissa platser kan berget ha sprickor med grundvattenströmmar, som kan svara för en betydande del av värmetransporten och påverka behovet av återladdning. Detta är dock ovanligt.

Dimensionering av borrhål

Vid dimensioneringen av borrhålen är det, som tidigare sagts, det aktiva borrhålsdjupet som skall bestämmas med hänsyn tagen till bergets egenskaper samt värmepumpens kapacitet och dess belastning (huset). Målet är att borrhålet skall kunna leverera behövlig värmeeffekt under året utan att köldbärarens temperatur vid något tillfälle blir för låg. En hög köldbärartemperatur uppnås genom stort aktivt borrhålsdjup, eventuellt uppdelat på flera borrhål. Detta ökar dock investeringen och även pumparbetet för att cirkulera köldbäraren. Värmepumpens uteffekt och dess värmefaktor är beroende av köldbärarens temperatur så att en grads sänkning av köldbärartemperaturen minskar uteffekten med typiskt 3 % och minskar COP med 2-3 %. På årsbasis kompenseras den försämrade värmeeffekten emellertid genom att värmepumpen går längre tid. På så sätt påverkas den producerade energin från värmepumpen knappast alls. Däremot försämras värmepumpens totala värmefaktor med cirka 3 %, vilket innebär att elförbrukningen ökar med cirka 3 % per grad sänkt inkommande köldbärartemperatur. Här finns således en balans mellan hålllängd och värmepumpens effektivitet. I allmänhet dimensioneras värmepumpen dessutom något mindre än husets maximala värmebehov vid DUT, så att en elpatron eller annan värmekälla går in och hjälper till när värmebehovet är stort. En vanlig regel är att värmepumpen klarar 60 - 80 % av det maximala effektbehovet. Den täcker därvid betydligt mer än 90 % av det årliga energibehovet. Kapacitetsreglerade värmepumpar börjar så smått komma in på marknaden (2013) och med dessa blir det ekonomiskt fördelaktigt att täcka hela effektbehovet genom att en sådan värmepump har möjlighet att låta kompressorn arbeta med högre varvtal än normalt. Se avsnittet Värmekällor i kap 1.

Köldbärarens temperatur är lägre än det ostörda bergets temperatur (vid värmeuttag) och man kan definiera ett värmemotstånd mellan köldbäraren och det ostörda berget. Det är praktiskt att dela upp detta i två delar, ett motstånd mellan köldbäraren och borrhålsväggen, R_b , och ett mellan borrhålsväggen och det ostörda berget, R_g . R_b anses i allmänhet vara konstant och är för en U-rörskollektor ca 0,1 Km/W. Om man vid ett visst tillfälle tar ut 40 W per meter borrhål blir således temperaturdifferensen mellan borrhålsväggen och köldbäraren ungefär 4 K. R_g varierar däremot med tiden och med bergets värmeledningsförmåga m.m. Linjär värmeeffekt samt borrhåls- och bergmotstånd är specifika storheter och anges per meter borrhålslängd och med sorten W/m resp Km/W.

Visst utvecklingsarbete pågår för bergvärmekollektorer och i en framtid kan man förvänta sig kollektorer med ett lägre värde på borrhålsmotståndet, R_g .

Om värmeeffekten delas upp i komponenter enligt Figur 48, finner vi att motståndet i berget, mellan borrhålsväggen och ostört berg, beräknas enligt olika regler för var och en av dessa:

Den statiska motståndskomponenten, R_{gstat} , växer med tiden, men allt långsammare och närmar sig slutvärdet först efter decennier för ett ostört borrhål. Vid störda (intelligande) borrhål växer R_{gstat} snabbare och det är denna komponent, som avspeglas i temperatursänkningen enligt Figur 49.

För den årsperiodiska komponenten, $R_{g\ddot{a}p}$, varierar denna med det momentana värdet på uttaget, dock med en viss eftersläpning, som typiskt kan uppgå till 10 -15 dygn.

Slutligen, för den kortperiodiska komponenten, R_{gkp} , beror denna av tillskottet från de momentana temperaturavvikelserna från nollinjen. Maxvärdet, för vilket anläggningen dimensioneras, inträffar efter en köldknäpp som uppnår DUT. Beroende på hur stor del av belastningen, som tas av tillskottsvärmen och som ej belastar värmepumpen och borrhålet, får den kurvform (temperatur och tid), som vi väljer att ge köldknäppen, helt olika utseende. Figur 48 har en köldknäpp inlagd som når till DUT.

Varje belastningskomponent multipliceras med sin motsvarande motståndskomponent varvid dess bidrag till temperatursänkningen, ΔT , fås enligt Ekv. 4-6:

$$\Delta T_{stat} = q_{stat} * R_{gstat} \quad (4)$$

$$\Delta T_{\dot{a}p} = q_{\dot{a}p} * R_{g\dot{a}p} \quad (5)$$

$$\Delta T_{kp} = q_{kp} * R_{gkp} \quad (6)$$

där q betecknar belastningskomponenten och R_g motståndet mellan borrhål och ostört berg. Index stat, $\dot{a}p$ och kp betecknar respektive den statiska, årsperiodiska och kortperiodiska komponenten.

De olika temperaturfallen summeras och ger det totala temperaturfallet i berget när belastningen är som högst. Hela värmeflödet passerar borrhålsmotståndet och ger ett temperaturfall som läggs till summan ovan. Vi har nu fått fram det totala temperaturfallet mellan köldbärare och ostört berg. Så här långt talar vi om köldbärarens medeltemperatur. I en installation har vi en temperaturskillnad mellan ingående och utgående köldbärare, eftersom denna tar upp värme vid passagen genom borrhålsskollektorn och då ökar i temperatur. Värmepumpens effektivitet bestäms av köldbärarens temperatur vid utloppet ur värmepumpen och vi får därigenom ytterligare ett temperaturfall som beror av köldbärarflödet. Ett lågt köldbärarflöde innebär alltså i sig en lägre förångningstemperatur och därmed en sämre värmefaktor, innan man tar hänsyn till pumpenergin (se avsnittet om pumpstorlek).

Bidraget till temperatursänkningen från de olika värmeuttagskomponenterna blir den kallaste dagen då typiskt följande för ett borrhål i Stockholmstrakten. För enkelhets skull antas att värmepumpen är monovalent, dvs. den tar hela belastningen utan hjälp av tillskottsvärme. Om värmepumpen har hjälp av tillskottsvärme minskar bidraget från den kortperiodiska komponenten påtagligt och blir i princip noll om värmepumpens effekttäckning är 60 % eller lägre.

Tabell 5. Bidraget till temperatursänkningen ΔT från de olika belastningskomponenterna när alla samverkar till sänkningen. Förutsättningarna är ett ensamt borrhål i stockholmstrakten med följande data: värmeuttag 18 000 kWh, ingen tillskottsvärme, aktivt borrhålsdjup 150 m, bergets värmeledningsförmåga 3,5 W/(mK) och borrhålsmotstånd, $R_b = 0,1$ Km/W.

Belastningskomponent	Storlek [W/m]	Delmotstånd [Km/W]	Bidrag till ΔT [grader]
Statisk, efter 10 år	14	0,29	4,0
Årsperiodisk	11	0,18	1,9
Kortperiodisk	16	0,12	2,6
Belastning vid DUT, allt passerar genom R_b	41	0,10	4,1
Summa ΔT			12,6

Om det ostörda bergets temperatur är 9,5 °C vid borrhålets medeldjup, blir således, efter 10 års drift, köldbärarens lägsta medeltemperatur, beräkningsmässigt $9,5 - 12,6 = -3,1$ °C vid DUT om denna infaller vid ogynnsammaste tidpunkt då alla komponenter samverkar. Vid denna köldbärartemperatur fryser grundvattnet i borrhålet, vilket förbättrar värmeövergången genom att R_b minskar. Is har cirka fyra gånger högre värmeledningsförmåga än vatten. Beräkningen baseras dessutom på att värmepumpen är monovalent, d v s dimensionerad för att klara hela värmebelastningen vid DUT. Om värmepumpen dimensioneras för att tillskottsvärmen skall gå in när värmebehovet överstiger ca 60 % av maxbehovet vid DUT kommer i stort sett bidraget från den kortperiodiska komponenten att försvinna vid detta tillfälle, eftersom den tas helt omhand av tillskottsvärmen när det är som kallast i början av året.

Borrhålsdjup

Normalt dimensioneras bergvärmehål så att köldbärarmedeltemperaturen når ned till en eller ett par grader under noll när den blir som lägst. Därvid uppstår en viss påfrysning på slangarna, vilket förbättrar värmeövergången i grundvattnet och därigenom sänker R_b . Dimensioneringen görs genom att välja aktiv borrhålslängd så att driftförhållandena för den valda värmepumpen blir optimala med hänsyn till bl.a. befintliga och framtida grannhål, uppskattad energiprisutveckling, ränteläge m.m. Borrhålsdiametern har liten inverkan på borrhålets prestanda; en fördubbling av diametern kan minska värmemotståndet med något tiotals procent, mycket beroende på om kollektorn kan komma intill hålväggen, exempelvis vid återfyllda borrhål.

En värmepump, som får leverera stora energimängder i förhållande till sin effekt, dvs. får lång gångtid per år, kommer att ha ett högt årligt värmeuttag och därigenom kräva större borrhålslängd jämfört med samma värmepump i ett mindre hus. I det senare fallet blir gångtiden kortare (trots att den sannolikt täcker en större del av husets värmebehov vid DUT) och kan då klara sig med kortare borrhålslängd.

Värmepumpar med varvtalsstyrda kompressorer kan anpassa effektuttaget efter behovet och därigenom arbeta optimalt över ett större effektintervall och därigenom minska behovet av tillskottsvärme. För dessa görs dimensioneringen av borrhålet med hänsyn till detta, vilket bl.a. betyder att den kortperiodiska komponenten får ökat inflytande.

Om den aktiva borrhålslängden överskrider 200 m kan det vara anledning att i stället dela upp borrhålslängden på flera hål. Dessa kommer då normalt att ligga så tätt att de påverkar varandra och man måste därför ta hänsyn till detta vid dimensioneringen.

Vid dimensionering av borrhål kan det vara lämpligt att tänka på att ett borrhål med insatt kollektor bör kunna ha en livslängd av minst 50 år, medan en värmepump kanske behöver bytas ut efter 15-20 år. Med all sannolikhet kommer den nya värmepumpen att ha en högre värmefaktor än den gamla och därmed kräva mer värme ur borrhålet. Det är därför lämpligt att dimensionera borrhålet

med marginal för ett större värmeuttag i framtiden. Detta gäller inte minst om kapacitetsreglerade värmepumpar blir huvudalternativet i framtiden.

Det är dyrt att i efterhand lägga till mera borrhål, eftersom ett borrhågregat ska dit och knappast någon borrhåre vågar borra i ett gammalt borrhål p.g.a. risken att köra fast borrhålkronan i ett för trångt hål. Det blir därför ofta frågan om att göra ett nytt borrhål vid sidan om det gamla och för flödesbalansens skull bör båda borrhålen helst vara lika djupa. Alternativt får det kortare hålet strypas ned så att de får samma temperaturdifferens. En möjlig variant kan också vara att lägga dit en kompletterande ytjordvärmeslinga. Balansering åstadkoms då antingen genom att lägga en slinga med en anpassad slanglängd och -diameter, alternativt att strypa in slingan till det övriga systemet. Om brunnen är kort kan slingan också läggas i serie med brunnen. Fördelen med en ytjordvärmeslinga är att den ligger nära markytan och därigenom avlastar borrhålet och minskar behovet av återladdning om detta skulle vara aktuellt.

I det följande behandlas några av de faktorer som har betydelse för dimensioneringen.

Geografiskt läge

Det ostörda bergets medeltemperatur varierar beroende på vilken plats i Sverige vi befinner oss på. Bergets medeltemperatur överensstämmer med luftens medeltemperatur, dock med ett tillägg i orter med rikligt snötäcke enligt följande formel,

$$T_{berg} = T_{luft} + N_{snö}/100 \quad (7)$$

där T_{berg} och T_{luft} är bergets resp luftens årsmedeltemperatur (normaltemperatur) och $N_{snö}$ är antal dagar per år med snötäcke. I Skåne ligger normaltemperaturen kring 8 °C och minskar sedan norrut till typiskt 6 °C i Mälardalen, drygt 3 °C i Umeåtrakten till -1 °C i Kiruna. Efter korrektion för snötäcke blir bergtemperaturen i Kiruna ca +2 °C och i Umeå drygt 1 grad varmare. I Mälardalen kan korrektionen för snötäcke uppgå till +0,5 grader.

I dimensioneringen av bergvärmehål är det lämpligt att köldbärartemperaturen inte blir särskilt mycket lägre vid anläggningar i norra delen av landet, eftersom ett stort temperaturlyft, från köldbärare till radiatorsystem, påverkar värmepumpens prestanda negativt. Det betyder att anläggningar i norra Sverige ska dimensioneras för ett lägre värmeuttag per hålmeter än i södra Sverige.

Bergart/jordart

Bergets värmeledningsförmåga har stor betydelse för anläggningens dimensionering. Värmeledningsförmågan varierar inom vida gränser beroende på framförallt bergets kvartshalt och kan variera mellan 1,5 W/(mK) för basiska bergarter med låg kvartshalt såsom skiffer och kalksten till 7 W/(mK) för kvartsit med nära 100 % kvarts. Kvartsfattiga bergarter som skiffer och lersten kan ligga nere på 1,5 W/(mK). En uppfattning om bergets ledningsförmåga bör kunna erhållas från geologiska kartor, kommunens stadsbyggnadskontor, SGUs brunnarsarkiv (Sveriges Geologiska Undersökning - www.sgu.se) samt erfarenheter från tidigare borrhningar i området.

Även bergets specifika värmekapacitet har betydelse, men den varierar ganska lite mellan olika bergarter och ligger normalt inom området 1,9 - 2,2 MJ/(m³K). Vattenförande bergarter såsom kalksten och sandsten kan få högre specifikt värme genom sin vattenhalt.

Gotland, Öland och sydvästra halvan av Skåne består huvudsakligen av kalksten och liknade bergarter med lägre värmeledningsförmåga och kräver därför större aktivt borrhålsdjup. Även lokalt kan liknande förhållanden råda på många platser i Sverige. I närheten av Sundsvall finns t.ex. lokalt bergarten alnöit som är ganska olämplig för bergvärme.

Jordtäckning över berg

Ovanpå berget ligger oftast ett mer eller mindre tjockt jordtäck. Detta har ingen större betydelse för borrhålets dimensionering. Däremot om jordtäcket är tjockt kan kostnaden för borrhålet öka genom att jordborrning är dyrare än borrning i berg. Detta beror på att vid borrning i jord måste man installera ett minst 6 m långt foderrör av stål som förs ned till fast berg och borrar ner minst 2 meter i detta samt cementeras fast¹⁵. Om grundvattenytan ligger betydligt högre än bergytan bör man ta hänsyn till risken för att det vid värmeuttag bildas en ispropp i foderröret, som sedan gör att vid fortsatt frysning stiger trycket i borrhålet om inte grundvattnet i detta kan komma ut genom vattenförande sprickor i berget.

Det är lämpligt att borrhålet placeras där det finns åtminstone ½ m jordtäckning så att brunnstoppen m.m. kan läggas under markytan. Det är också fördelaktigt om slangarna till och från huset har tillfredställande jordtäckning för att minska risken för skador vid framtida markarbeten.

Kollektorn

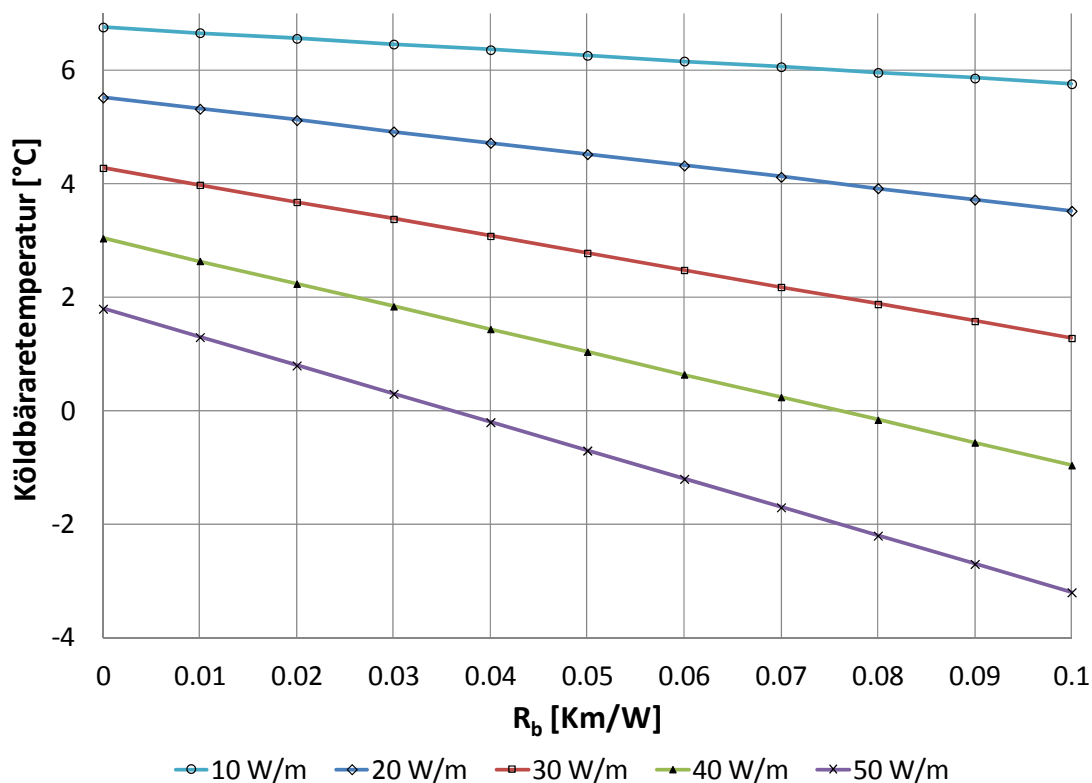
José Acuña

Värmeväxlingen mellan berget och köldbärare sker med hjälp av en kollektor som placeras i borrhål i berget. Beroende på hur köldbäraren transporteras genom kollektorns slangar kan man klassificera dessa i två generella grupper: U-rörs och koaxiala kollektorer, där den förstnämnda är den vanligaste med ca 99 % av marknaden. Denna kan bestå av en/ flera parallella U-rör (dubbla U-rör är också vanliga) med eller utan olika tillbehör som kan förbättra värmeöverföringen (distanser, inre/ytte räfflor, mm). Den består i de flesta fall av en polyetenslang PE40x2,4mm, (ytterdiameter 40 mm, vägg tjocklek 2,4 mm) med U-form, det vill säga en slang ner och en upp som är ihop svetsade nedtill. Koaxialkollektorer består av en centrumslang och en eller flera perifera flödeskanaler kring centrumslangen.

U-rörskollektorer är säkra, lätta att installera och har en relativt låg kostnad. Däremot har de vanligtvis dåliga prestanda genom att värme flyter över mellan ned- och uppåtgående slang samt p.g.a. odefinierat slangläge i borrhålet. Det är önskvärt att installera kollektor-slangarna långt från varandra och så nära borrhålsväggen som möjligt.

Som diskuterats tidigare har prestandan i kollektorer traditionellt kvantifieras i termer av ett borrhålsmotstånd, R_b , som bestämmer temperaturdifferensen mellan köldbäraren och borrhålsväggen. Under värmeuttag från marken resulterar ett lägre borrhålsmotstånd i högre köldbärartemperaturer. Köldbärartemperaturerna beror inte bara på det som händer i borrhålet utan också på det som händer i berget. Den sammanlagda effekten illustreras i Figur 50 för olika specifika effektuttag. Ett högt effektuttag gör att borrhålet blir kallt snabbare, vilket resulterar i lägre berg/ köldbärartemperaturer. En hög köldbärartemperatur är att föredra under värmesäsongen för att uppnå en högre verkningsgrad (varje grad kan öka COP med 2 till 3 %). Temperaturnivån måste beaktas om t ex ett berglager skall användas för att även täcka byggnadens kylbehov.

¹⁵ http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/normbrunn-07.pdf

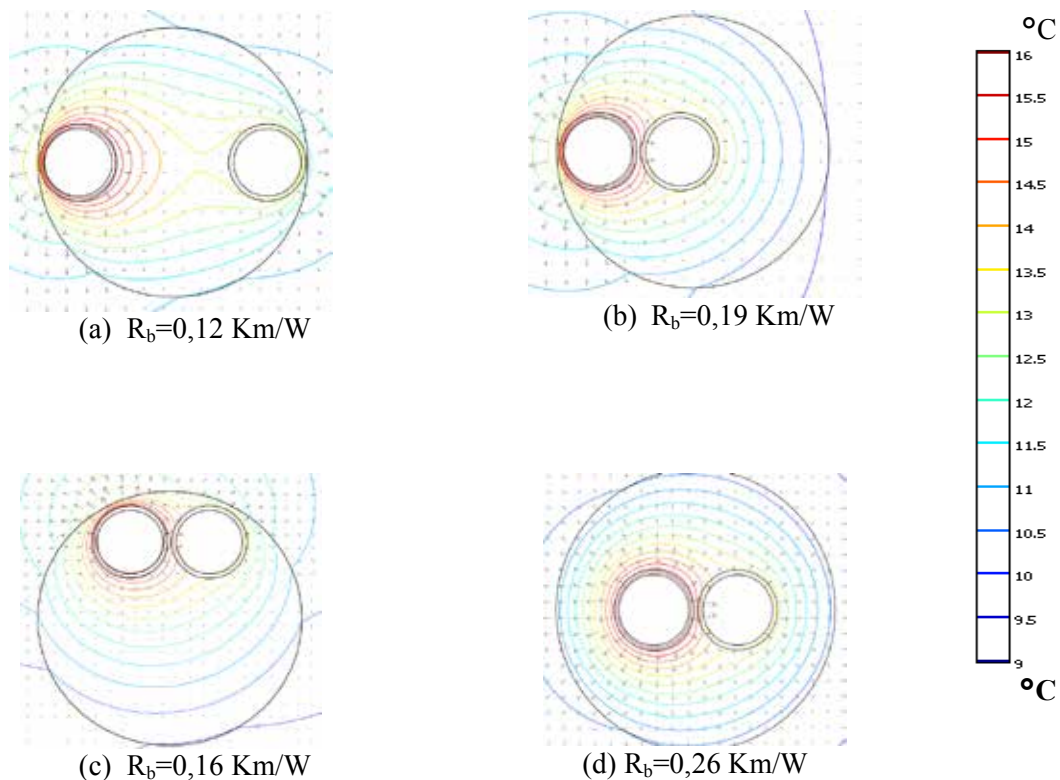


Figur 50. Köldbärarens medeltemperatur som funktion av det termiska motståndet i borrhålet (beräknad efter ett dygn av konstant effektuttag, bergets värmeledningsförmåga av 2,5 W/mK, ostörd temperatur av 8°C, 140 mm borrhålsdiameter).

Det framgår också från Fig. 50 att samma köldbärartemperatur kan uppnås vid olika effektuttag genom att ändra det termiska motståndet i borrhålet. Att ändra motståndet kan göras genom att byta kollektor eller genom att ändra förutsättningarna i ett befintligt borrhål (variera köldbärarflödet, återfylla borrhålet kring kollektorslangarna, skapa rörelser i grundvattnet, ändra slangposition bland annat).

Borrhålsmotståndet, R_b , kan bestämmas i fält genom att göra ett så kallat TRT (termiskt responstest) på kollektorn i borrhålet. Denna belastas med en konstant värmeeffekt under ca två dygn, samtidigt som den cirkulerande köldbärarens temperatur registreras kontinuerligt. Ur mätdata kan sedan både borrhålsmotståndet och bergets värmeledningsförmåga bestämmas. Vissa villkor måste vara uppfyllda vid ett TRT, bl.a. måste borrhålet ha fått vila en tid innan mätningen.

Figur 51. visar hur temperaturfördelningen och borrhålsmotståndet är beroende av hur kollektorslangarna hos ett U-rör ligger i ett 140 mm borrhål. Olycklig positionering av slangarna kan mer än fördubbla värmemotståndet.



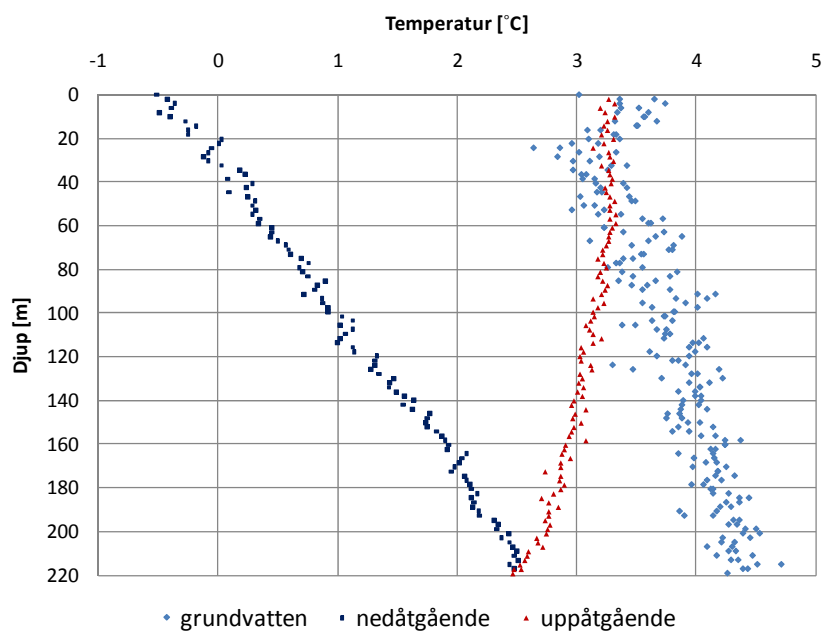
Figur 51. Temperaturgradienter och borrhålsmotstånd i grundvattenfylld borrhål (enbart värmeledning i helt stillastående vatten) för olika positioner av slangarna hos ett U-rör (PE40x2,4mm) i ett 140 mm borrhål.

En ökning av borrhålsdiametern ökar borrhålsmotståndet, men ger lägre termiskt motstånd i berget. Vid ett grundvattenfylld borrhål kan vattenrörelser minska borrhålsmotståndet. Likaså kan återfyllning med ett material med hög värmeledningsförmåga ge motsvarande effekt. Är återfyllningsmaterialets värmeledningsförmåga lägre än bergets så kommer den större diametern att leda till större motstånd i borrhålet. Avstånd mellan slangarna, temperaturnivån i borrhålet, köldbärarflödet, val av slangmaterial, är också avgörande. En stor borrhålsdiameter som gör att bergets motstånd är lågt samtidigt som man säkerställer att kollektorslangarna ligger nära bergväggen skulle vara en bra design. Om fyllningsmaterialet har hög värmekapacitet så kommer prestandan under korta drifttider med värmepumpen att förbättras.

Figur 52. visar en typisk temperaturprofil i köldbäraren (och grundvattnet) längs en U-rörsvärmeväxlare under värmeuttag från berget. Temperaturen ökar medan vätskan passerar igenom kollektorn tack vare värmetillförseln från marken. Värmeupptagningen på vägen ner är högre än på vägen upp. I detta driftfall ser man hur, längst upp i borrhålet, grundvattnet har lägre temperatur än den uppgående köldbäraren, vilket innebär förlust av värme (termiskt shuntflöde).

Medeltemperaturdifferensen mellan borrhålsväggen och köldbäraren i U-rörslangar är minst tre grader. Är temperaturskillnaden liten tar man energi från berget på ett effektivare sätt och därför rekommenderas det att välja en kollektor med lågt termiskt motstånd (Fig. 50). Motståndet för U-rörskollektor i grundvattenfyllda borrhål brukar variera mellan 0,06 och 0,10 Km/W. De värden som visas i Fig. 51 är beräknade och gäller för ren värmeledning genom stillastående grundvatten. En viss konvektion i grundvattnet vid verkliga installationer (speciellt vid värmetillförsel till borrhålet) har bekräftats genom mätningar, vilket i praktiken innebär lägre motstånd än de som visas i figuren. Även med bättre kollektorer är det temperaturnivåerna som avgör systemets prestanda, och det är därför viktigt att inte överbelasta marken. Rapporten av (Hellström, 2002) presenterar en komplett sammanfattning av allt som hade hänt fram till år 2002

vad gäller utformning av borrhålsvärmväxlare. Prototyper av koaxiala kollektorer, som nyligen har testats på KTH, har effektiva borrhålsmotstånd mellan 0,02 Km/W och 0,04 Km/W (Acuña, 2013)¹⁶.



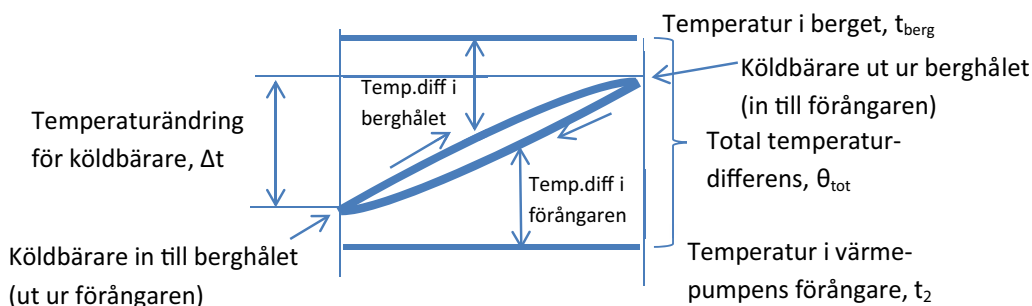
Figur 52. Typisk temperaturprofil längs en U-rörskollektor

¹⁶ Acuña, J., 2013, Distributed thermal response tests – New insights on U-pipe and Coaxial heat exchangers in groundwater-filled boreholes, Doctoral Thesis in Energy Technology, KTH, Stockholm, Sweden

Vilken strömningshastighet är lämplig i en kollektorslang?

Eric Granryd

Värmeupptagning ur berghål sker med hjälp av en frostskyddad vätska, ofta kallad köldbärare. Den cirkulerar i ett kretslopp genom värmeväxlaren i berget och genom värmepumpens förångare och får ett temperaturförlopp som schematiskt visas i Fig. 53. (Temperaturförloppet i U-rörsvärmväxlaren i berget med sina två skänklar, en för strömning neråt och en uppåt, har "rätats ut" så att första hälften av kurvan i figuren gäller för strömning neråt och andra uppåt.) I allmänhet är det också samma flöde i förångaren och i figuren har temperaturförloppet i den värmeväxlaren också ritats in.



Figur 53. Schematiskt temperaturförlopp

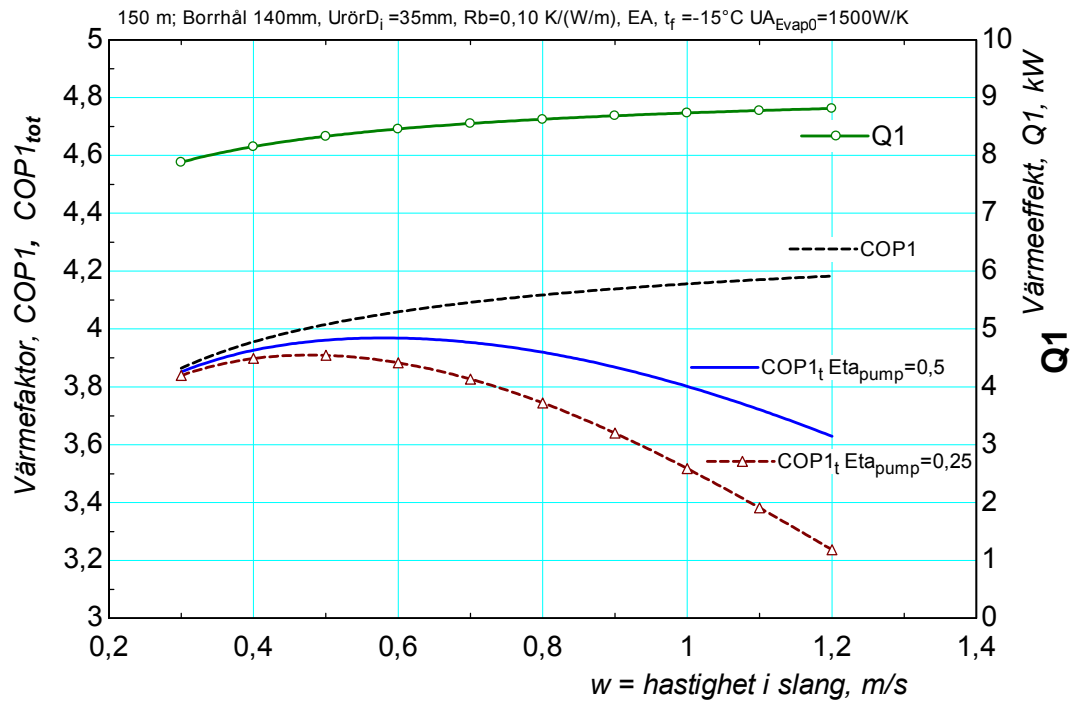
Flödet i slangarna kan väljas relativt fritt, men valet bör göras med omsorg.

Ju högre vätskeflöde man använder desto mindre blir temperaturändringen för vätskan (Δt i figuren). Ökat flöde påverkar också värmeövergången i slangar och förångare. Sammantaget får man med ökat flöde fördelen att den totala temperaturdifferensen (θ_{tot}) minskar vilket med given temperatur i berget medför att förångningstemperaturen (t_2) höjs. En hög förångningstemperatur ökar värmepumpens effekt och COP.

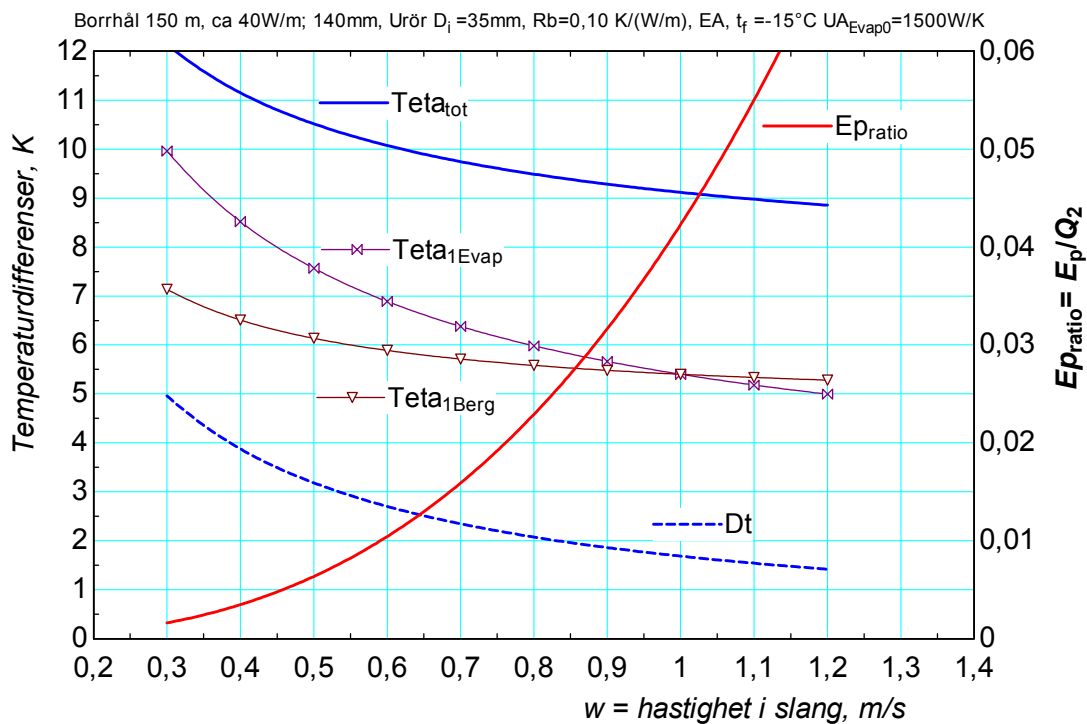
Men ett högt vätskeflöde kostar också: Pumpeffekten som fordras för cirkulationen ökar dramatiskt med ökat flöde. Det är lätt att cirkulationspumpens effektbehov glöms bort. Det finns exempel där köldbärarpumpen kräver en eleffekt i storleksordningen 20 % av kompressorns effekt, vilket är långtifrån optimalt. För att få bästa värmefaktor bör man i allmänhet istället välja en pump som kräver någon eller några procent av värmeupptagningen (dvs. kyleffekten) vilket i sin tur motsvarar att pumpeffekten ligger i storleksordningen 5 – 8 % av kompressorns effektbehov.

Följande diagram, Figur 54 och 55 illustrerar det sagda. Beräkningarna baseras på antaganden för ett typiskt fall med 150 m borrhål och en värmepump med ca 8 kW värmeeffekt. Det innebär att man tar ut ungefär 6 kW ur berghålet, eller $6000/150 = 40$ W/m. U-rörs-slangen i berghålet förutsätts ha 35mm innerdiameter. Vid beräkningarna har också hänsyn tagits till ett visst tryckfall vid köldbärarcirkulationen i förångaren.

I det här fallet får man högsta totala värmefaktor (i vilken pumpens effektbehov är inräknad) (COP_{I} , $= Q_1 / (E_k + E_p)$) vid en hastighet omkring 0,6 m/s (för det fall att pumpen har en verkningsgrad = 50 %). Samtidigt ser man att värmepumpens värmeeffekt (Q_1) ökar något med hastigheten. Utan nämnvärd förlust i COP kan man kosta på sig en något högre hastighet eftersom det ger en aning högre värmeeffekt. Kanske 0,6 till 0,7 m/s vore lämpligt i det här exemplet. I figuren visas också en kurva för COP_{It} med 25 % verkningsgrad för köldbärarpumpen. För ett sådant fall med lägre pumpverkningsgrad är den optimala hastigheten lägre, ca 0,5 m/s.



Figur 54. Diagrammet visar inverkan av flödes hastigheten i slangarna på:
 Värmeeffekten $Q1$ = värmeavgivningen i kondensorn, kW, (visad i skalan till höger)
 Värmefaktorn $COP1 = Q1/E_k$ där E_k är kompressorns effektbehov
 De två nedersta kurvorna visar (för två fall med olika pumpverkningsgrad) total värmefaktor $COP1_{tot} = Q1/(E_k + E_{pump})$ där E_{pump} är köldbärarpumpens effektbehov



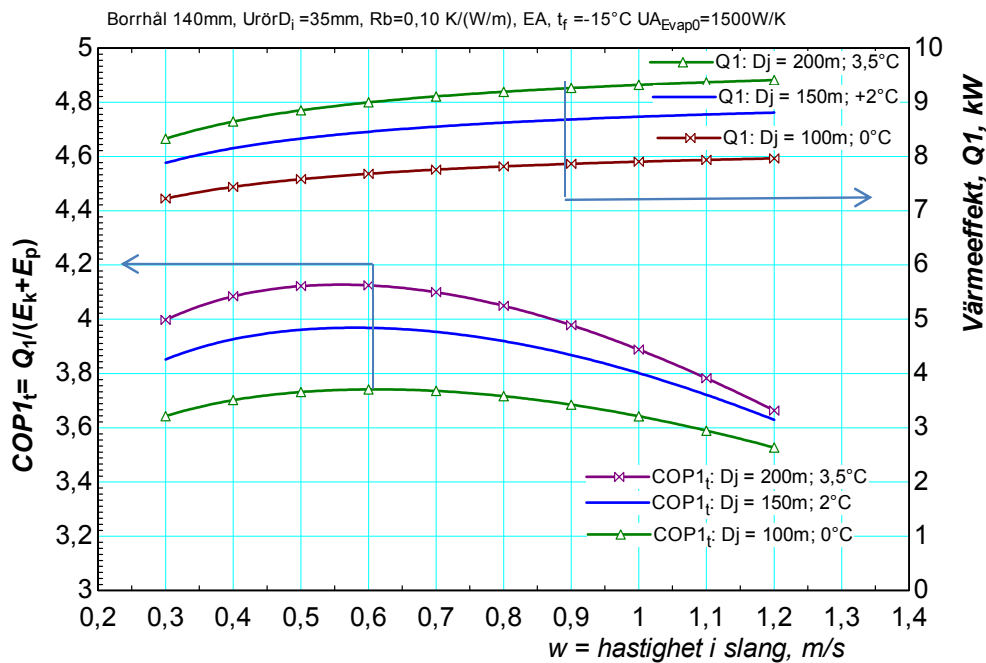
Figur 55. Här visas hur flödes hastigheten i slangarna påverkar:

- Temperaturdifferens mellan inkommande köldbärare och bergvägg ($Teta_{1Berg}$)
- Skillnaden mellan temperatur för inkommande köldbärare till värmepumpens förångare och förångningstemperaturen ($Teta_{1Evap}$).
- Skillnaden mellan bergväggsens temperatur och förångningstemperaturen ($Teta_{tot}$).
- Temperaturändringen för köldbärare, Dt
- Samt relationen pumpeffekt/kyleffekt: $Ep_{ratio}=E_p/Q_2$ som visas på axeln till höger.

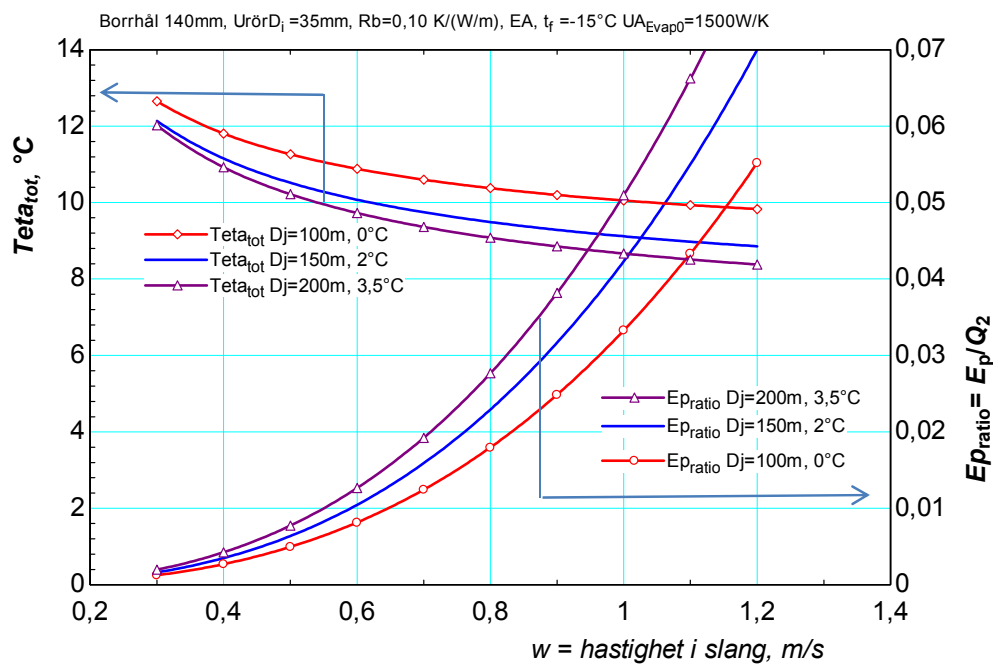
Om man väljer en hastighet $w = 0,6\text{ m/s}$ behöver man en pumpeffekt på drygt 1 % av kyleffekten (värmeupptagningen). I det här exemplet motsvarar det ca 5 % av kompressorns effektbehov. Förutsättning 50 % verkningsgrad på köldbärarpumpen.

För att illustrera hur borrhåls längden inverkar visas till slut Figurerna 56-57. I dessa diagram har hänsyn tagits till att bergtemperaturen i borrhålet efter några års drift kommer att vara högre ju djupare man borrar (här har temperaturen vid borrhålsväggen vid 100 m borrhålsdjup, vilket motsvarar ca 60 W/m, satts till 0° , vid 150 m: 2°C och vid 200 m: $3,5^\circ\text{C}$). Större borrhålsdjup (större slanglängd) ger som väntat större behov av pumpeffekt om inte flödes hastigheten ändras. Vid större slanglängder är det lämpligt att använda marginellt lägre hastigheter för att få bästa totala COP1. En flödes hastighet av ca 0,6 m/s verkar i de här exemplen vara lämplig i alla fallen.

En flödes hastighet av 0,6 m/s innebär en pumpeffekt som motsvarar ca 1 - 1,5 % av kyleffekten (Ep_{ratio} 0,01-0,015) och detta ligger i det här exemplet nära vad som ger störst COP1_{tot} i stort sett oberoende av slanglängden.



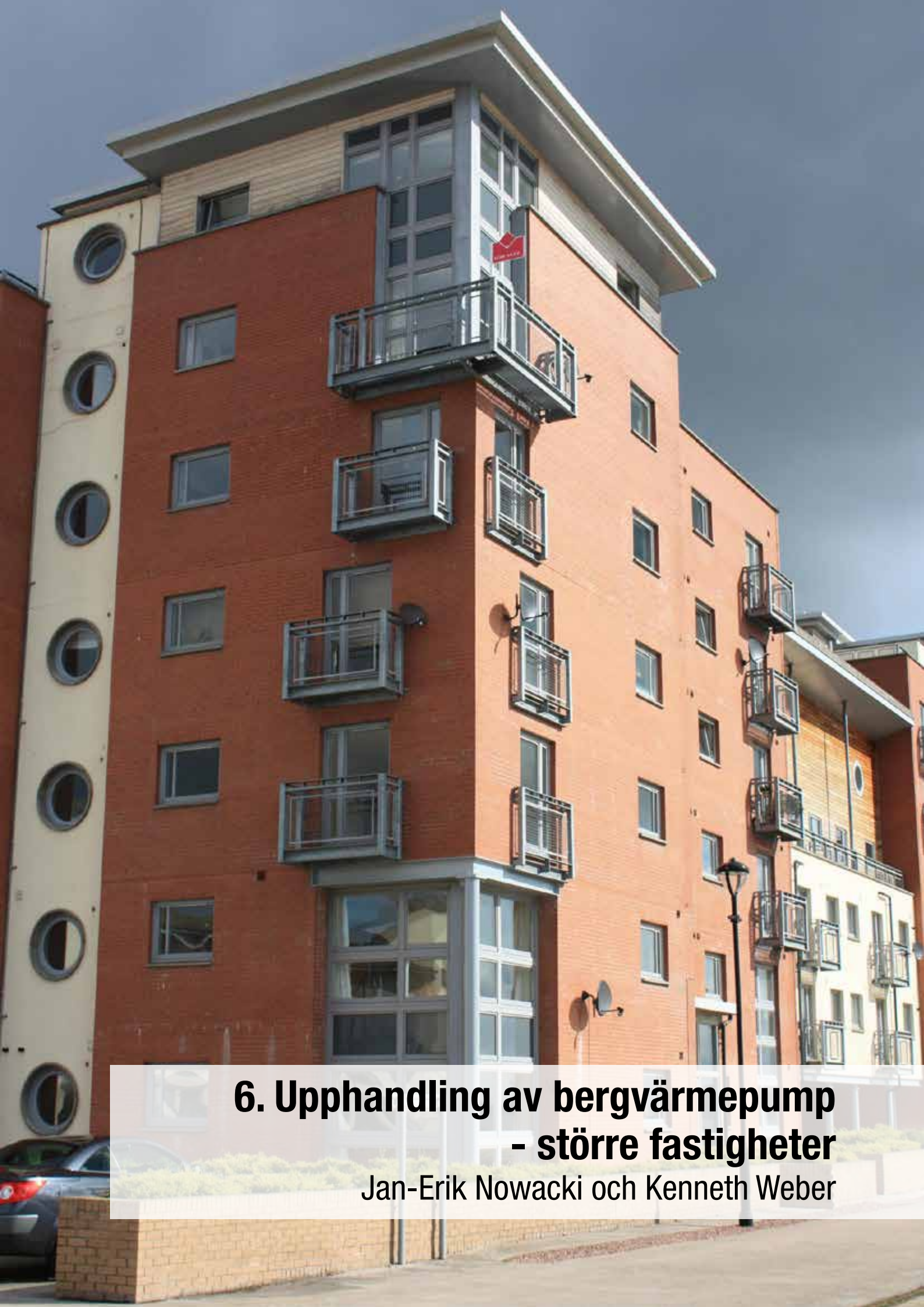
Figur 56. Här visas hur flödeshastigheten i slangarna påverkar värmefaktor COP_{tot} och värmeeffekten Q_1 för tre fall med olika borrhålslängder.



Figur 57. Visar hur flödeshastigheten i slangarna påverkar temperaturdifferensen $Teta_{tot}$ och pumpeffektsrelationen Ep/Q_2 för fall med borrhålslängderna 100, 150 och 200 m.

Till slut en observation:

Som visas i Figur 54 och 56 ökar värmeeffekten något om man använder högre hastighet i slangarna. Detta är särskilt intressant i driftsfall där man har behov av tillsatsvärme. Men högre hastighet kräver ökad pumpeffekt (se Figur 57) vilket innebär att man kostar på sig större pumpeffekt i köldbärarkretsen än vad som ger bästa totala värmefaktor för själva värmepumpen. För driftsfall där man har behov av tillsatsvärme är det, trots detta, ett alternativ som marginellt kan spara tillsatsenergi och därmed ge en energibesparing totalt sett.



6. Upphandling av bergvärmepump - större fastigheter

Jan-Erik Nowacki och Kenneth Weber

6. Upphandling av bergvärmepump – större fastigheter

Jan-Erik Nowacki och Kenneth Weber

Detta kapitel riktar sig huvudsakligen mot större fastigheter där en juridisk person är köpare. En privatperson kan koncentrera sig på de kursiverade styckena i detta avsnitt. Detta avsnitt är mer att rubricera som en ”kokbok” om hur man skaffar bergvärmepump. Om man köper bergvärmepump som privatperson är man ganska väl skyddad juridiskt genom Konsumenttjänstlagen¹⁷. Om man som juridisk person vill veta mer detaljerat om entreprenadrätt kan man t ex läsa referenserna^{18,19}.

Förfrågningsunderlag - behövs konsult?

Som privatperson och för mindre hus är konsult ofta alltför dyrt! För större hus eller vid juridiska personer som köpare måste man dock ofta åstadkomma ett mer komplett förfrågningsunderlag. Det anger vissa grundförutsättningar för entreprenaden och även vad man vill ha gjort. *Grundregeln är att den som ger en uppgift också är ansvarig för att uppgiften är riktig.* Redan på detta stadium har man anledning att se upp! Är den angivna energiförbrukningen från fjärrvärmemätaren verkligen all energi som huset behövt för sin uppvärmning - eller finns det en frånluftsvärmepump installerad därtill någonstans - ska den vara kvar? Om man känner att man inte har tid, kompetens eller lust att ägna tid åt energifrågor kan en konsult vara en bra lösning. Även konsulter finns dock av många slag:

En renodlad VVS-konsult kan gå igenom fastighetens uppvärmningssystem, föreslå sådana åtgärder som han tycker är lönsamma, upprätta ritningar och förfrågningsunderlag. Han kan även utvärdera offerterna och föreslå entreprenör. Om man väljer den lösningen bör man övertyga sig om att VVS-konsulten i fråga kan mycket om just värmepumpar. Eftersom en konsult vald på detta sätt också får en stor makt bör man försäkra sig om att han är oberoende. Det är utmärkt om konsulten upprättar lagom detaljerade ritningar. Blir de alltför detaljerade blir de dyra att upprätta och dessutom blir det svårt för entreprenörerna att anpassa sig till dem. Om de skulle vara felaktiga kan entreprenören hänvisa till ritningarna och frånta sig ansvar. Blir ritningarna alltför ofullständiga kan entreprenören däremot hävda att detta orsakat honom merkostnader t ex genom att han tolkat dem fel.

En renodlad ekonomi/fastighetskonsult kommer att räkna på olika alternativ under olika ekonomiska förhållanden och huvudsakligen beskriva nuläge, önskvärda åtgärder och kanske lägga större vikt vid olika formella krav på t ex bankgarantier, kompetenscertifiering, miljöcertifiering mm.

Den bäste konsulten förstår problemets totala komplexitet och lägger ned lagom mycket energi på alla områden.

En annan väg att gå är att hoppa över konsulten och direkt vända sig till olika entreprenörer med sina önskemål. Man ber dem undersöka alla data av relevans och inkomma med offerter. De får då själva försöka uppskatta t ex husets energibehov och de blir då delvis själva ansvariga för att de tänkt rätt. Man kan ju hoppas att åtminstone ”summan” av t ex tre entreprenörer fått med allt. Denna väg kostar förhållandevis mindre - men innebär en risk för att man glömmer något fundamentalt.

¹⁷http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Konsumenttjanstlag-1985716_sfs-1985-716/

¹⁸ Lars-Otto Liman Entreprenad och konsulträtt, Svensk Byggtjänst, 1994

¹⁹ Lars-Otto Liman, ABC om AB 04 och ABT 06, svensk Byggtjänst 2007

Vilka villkor skall gälla – ABT²⁰?

Sådant som man som privatperson bör tänka på Om man som privatperson köper bergvärme gäller Konsumenttjänstlagen. Den lagen förutsätter att köparen befinner sig i ett underläge i förhållande till säljaren och skyddar konsumenten. Man kan mycket förenklat säga att säljaren har ett funktionsansvar liknande ABT nedan. Konsumenttjänstlagen är förhållandevis lättläst. När det gäller större hus är köparen emellertid oftare en juridisk person - t ex en bostadsrättsförening eller ett aktiebolag. Då förutsätts parterna mer likställda och det är mycket viktigare att skriva ett avtal mellan parterna som håller, även om någonting oförutsett skulle inträffa, t ex att entreprenören blir sjuk eller att entreprenaden försenas. I praktiken finns två stycken sådana fullständiga avtal som man kan välja. Det ena heter AB04⁴ (Allmänna Bestämmelser) och det andra ABT06 (Allmänna Bestämmelser för Totalentreprenad). En fördel med att använda sådana standardavtal är att det finns ett stort antal rättsfall som tolkat avtalen. Då slipper man att hamna i onödiga rättsprocesser - man kan helt enkelt bara titta på tidigare utslag och spara advokatkostnaderna.

ABT06 reglerar förhållandena vid totalentreprenader. Vid en sådan entreprenad svarar leverantören för **funktionen** av systemet. Han kan alltså inte säga t ex att han inte visste att radiatorsystemet var "underdimensionerat". Entreprenören skulle ha tagit reda på hur det var dimensionerat om ingen talat om det för honom. Om köparen angivit för honom hur det var dimensionerat och denna uppgift var fel, svarar dock köparen för felet eftersom uppgiftslämnaren svarar för riktigheten i uppgifterna.

AB04 gäller för andra entreprenader. Man kan t ex köpa värmepump med installation från ett företag och borrhålen med sina slangar från ett annat (delad entreprenad). Det gäller då att ha specificerat det hela bra så att inte någon del hamnar mellan stolarna. Vem skall t ex svara för genomföringen genom husväggen - eller en brand inomhus i etanolen som slangarna var fyllda med från borrhälsfirman? Om man avser att använda AB04 som avtalsform, ökar betydelsen av att använda en konsult för att specificera ansvarsområdena.

Vilka krav skall ställas?

Man behöver en "önskelista" för den tänkta funktionen. Denna önskelista måste sedan kompletteras med mätbara krav för att man skall kunna bestämma om funktionen uppfyllts. Några exempel på mätbara krav är:

- Värmepumpen skall uppnå en viss årsvärmefaktor (producerad värme/konsumerad el)
- Värmepumpen skall uppnå en viss värmeeffekt (kW)
- Värmepumpen skall åstadkomma en viss årlig energibesparing (kWh)
- Varmvattentemperaturen från varmvattenberedaren skall vara minst 60°C (eller t ex 55 °C)

De flesta kraven ovan kräver en noggrann specifikation för att ha en mening. Årsvärmefaktorn kanske kräver någon form av klimatspecifikation - gäller den t ex även om vintern skulle bli extremt sträng eller bara för "normalår"? Besparing kan specificeras som den energimängd som man pumpar ur sitt borrhål - ska köldbärarpumpenergin som åtgår för att pumpa upp värmen dras av? Vilka mätinstrument skall anses relevanta vid mätningen - finns det flera sätt att mäta? Hur mycket tappvarmvatten kan man kräva skall tappas i en tappning för att temperaturen fortfarande skall hålla sig över 60°C?

²⁰ http://sv.wikipedia.org/wiki/Allmänna_bestämmelser

Att tänka på vid en offertförfrågan

Nedan finns några punkter om det som bör ingå i en offertförfrågan. *Observera igen att den som anger data också svarar för riktigheten. Om man inte vet en viss uppgift är det bäst att inte gissa utan t ex låta offertgivaren försöka klarlägga den.* Oklarheter i offertförfrågan gör dock offertgivarna mindre villiga att offerera.

Generellt

- *Vem som vill ha offerten med alla data - om det är en privat- eller juridisk person*
- *Anbudsgivaren måste också kunna ange ett organisationsnummer och momsregistrering.*
- Hur man avser att bedöma offerterna gentemot varandra - kalkylränta, avskrivningstid och vilka energipriser man kommer att anta
- *Var objektet ligger där värmepumpen skall sättas in - och i vilken kommun*
- Uppgifter om byggnaden, golvyta - hur den används, inomhustemperatur, om det är en tung eller lätt byggnad och byggår, typ av distributionssystem för värmen
- *Energiförbrukning* för normalår, eller om den är okänd, maxeffekten vid lägsta utetemperatur
- *Uppgifter om den nuvarande värmekällan - t ex ålder eller verkningsgrad på oljepanna*
- Uppgifter om tappvarmvattenförbrukning eller antal lägenheter eller *antal boende*, eventuellt kan kallvattenförbrukning per år anges, minsta tappvarmvattentemperatur.
- Uppgift om *nuvarande elförbrukning* och säkringsstorlek

Det är viktigt att alla anbudsgivare får samma fakta. Om man kommer på att man vill komplettera underlaget måste alla tillfrågade anbudsgivare informeras. Man får inte heller "plocka russinen ur kakan" och stjäla idéer från en anbudsgivare och delge det till en annan - det är oetiskt. Man får inte heller begära in anbud bara för att få in storleksordningen på en kostnad t ex. Det blir ofta mycket arbete med en offert.

Radiatorsystem och andra vattenburna system.

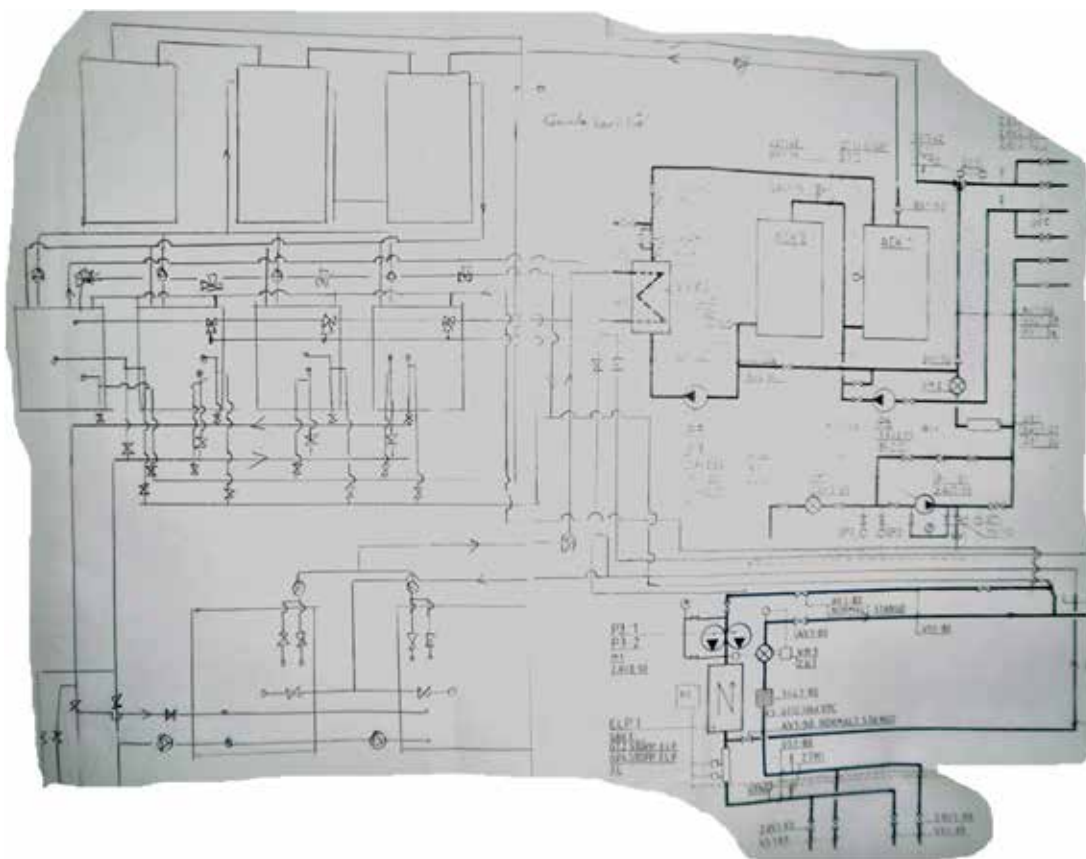
- Framledningstemperatur och eventuellt returledningstemperatur kallaste dagen
- Typ av distributionssystem (t ex enrörssystem där vattnet går från en radiator till nästa) eller golvvärme
- Uppgift om eventuellt *kylbehov* (effekt, energi samt temperaturkrav)

Berg och jord

- *Yta som teoretiskt finns till förfogande*, gärna tomtkarta med andra ledningar inlagda
- Uppgifter om grannar som har energibrunnar
- Uppgifter om brunnar och vattentäkter i närheten risk för t ex saltvatteninträngning
- Uppgifter om typ av bergart (granit t ex), jordart (lera t ex) och jorddjup till berg
- Typisk grundvattennivå
- *Önskemål om placering av värmepump*

Kopplingsschema och styrning

99 % av alla byggnader där man vill sätta in värmepump är redan byggda. Det innebär att man oftast måste in i ett befintligt pannrum och utnyttja befintliga ritningar. Dessa ritningar och hela rörsystemet kan vara så snårigt att det kan vara lika bra att göra om allt - både ritningsmässigt och fysiskt. Oavsett om man anlitat en konsult, eller om en entreprenör gör schemat, bör han kunna presentera ett begripligt flödesschema för hur det ska fungera. Huset kan ha genomgått många olika värmesystemsgenerationer - kol, olja och kanske en tidigare värmepump. Ibland kan ritningarna för ett större hus se ut så här:



Figur 58. Värmepumpar till vänster och resten av systemet till höger

Det är viktigt att man förstår hur allt ska fungera med det nya systemet. Det är dock svårt att förstå Fig. 58. - trots att figuren egentligen också skall fungera som ett principschema som skall vara extremt lättförståeligt. Principscheman, som inte alls bygger på att komponenternas inbördes placering i det aktuella pannrummet, blir enklare.

Vid utvärderingen av själva styrsystemet skall man lägga vikt på att just brukaren förstår systemet och själv kan vidta förändringar.

- Hur ändrar man framledningskurvan så att det blir varmare eller kallare inomhus?
- Hur skall man ingripa i styrsystemet och manuellt om något går sönder - reserv?
- Hur kommer larm att representeras och till vem kommer de att gå?
- Hur får man reda på en långsam försämring vid t ex köldmedieläckage?
- Hur ser knappar, bilder och textfönster ut på styrpanelen?
- Finns manualer - vilka? - för vad? - på vilket språk?

Det är bra att föreställa sig, att man står ensam på julafton med ett kallt hus och släkten på väg eller arga boende - ändå ska man kunna klara av situationen kortsiktigt själv. Administrativa villkor, betalning, tillstånd mm.

För att hjälpa till så att man inte glömt något viktigt finns följande lilla ytterst förenklade kontraktsförslag med. Man kan med fördel även använda det som privat köpare och tydligt ange att mycket av ansvaret för uppgifterna hamnar på säljaren. Det är dock inte säkert att detta förslag täcker in alla problem som kan uppkomma - men kanske 80-90% av de vanligaste konfliktorsakerna kan rensas bort om man följer mallen nedan. Till detta kontrakt skall naturligtvis också fogas ritningar och specifikationer. Oförutsägbara problem, som t ex vad händer om entreprenören går i konkurs, godset brinner upp eller en försening uppstår, bör hänvisas till via standardavtal t ex ABT. Som privat konsument finns i första hand Konsumenttjänstlagen att hänvisa till. I andra hand kan konflikter hänskjutas till Värmepumpnämnden. Att lösa konflikter i tingsrätten är ofta dyrt.

Andra system som gränsar till värmepumpen

Det **nuvarande elsystemet** kan vara för klen för att klara av både värmepump och elspets. I bästa fall är det bara att säkra upp, men i värsta fall måste man också dra nya elledningar i marken långa sträckor och kosta på transformatorer. Det kan bli mycket dyrt.

*Ibland vill man att värmen i det **nuvarande ventilationssystemet** skall tillvaratas. Det gör att man kan borra mindre eftersom ventilationsluften ständigt värmer köldbäraren. Om ventilationsluftens värme tillvaratas på ett vettigt sätt t ex för prioriterad tappvarmvattenberedning kan man spara några procent. Om man däremot har en liten värmepump med ett enkelt borrhål, kan värmen flyta bort. Man kan då t o m få en sämre värmefaktor eftersom man uppoffrat pumpenergi för att tillföra ventilationsenergin till köldbärare, värmepump och berg. Om man avser att använda ventilationsluften är det mycket viktigt att försäkra sig om att det går att dra ledningar mellan ventilationsutloppen - vanligen på taket och värmepumpen - vanligen i källaren. Oanvända sopnedkast i flerfamiljshus kan ofta användas för detta.*

***Gamla värmesystemets** roll i den nya installationen – skall oljepanna och tank bort? Om panna och skorsten är i hyfsat skick kan man överväga att låta pannan vara kvar och producera spetsvärme. Oljetanken kan med fördel ersättas av en mycket mindre tank - helst i plast och gjord på ett sätt där man inte kräver årliga besiktningar. Om man vill ta bort det gamla värmesystemet skall man se till att det finns med i offerten.*

Styrsystem - skall det nya ersätta gamla eller ska de samarbeta? Ibland kan det finnas skäl att använda delar av ett gammalt styrsystem - även om det oftast är klokast att byta alltihop. Ibland finns det dock delar av ett gammalt system som av någon anledning är dyrt eller svårt att byta. Det är viktigt att entreprenadgränser och ansvarsförhållanden specificeras väl här.

Ett förenklat kontraktsförslag:

Kontraktsförslag sida 1(4)

Bergvärmepumpkontrakt(ÅÅÅÅ-MM-DD)

Köparens namn - företag eller enskild + personnummer eller organisationsnummer.

.....

Köparens adress, telefon och E-post

.....

Säljarens namn och organisationsnummer

.....

Säljarens adress, telefon, E-post och kontaktman

.....

Vid försäljning till konsument gäller Konsumentköpslagen och Konsumenttjänstlagen säljaren är ansvarig för funktionen. Uppenbart felaktiga uppgifter från köparen fritar inte säljaren.

Vid försäljning till juridisk person kan istället t ex ABT 06 kopplas till kontraktet.

ABT gäller ☐ ABT gäller inte ☐, Utförande enligt minst AMA09 ☐ gäller, gäller dessutom

Den som lämnar en uppgift nedan är ansvarig för uppgiften.

INGÅR

Totalentreprenad ☐ Vid ja här har säljaren **totalt** funktionsansvar.

Värmepump Typ..... Nominell värmeeffekt

Installation el ☐ Huvudsäkringar räcker uppg. av köpare ☐ säljare ☐

Installation i hus ☐ Extra rad. och expansionskärl bekostas av köpare ☐ säljare ☐

Installation köldm ☐ Installatör har behörighet och tillstånd ☐

Köldbärarslinga ☐ Köldbärare %

Isolering, genomföringar och inomhus dragning spec.....

.....

Garanterad lägsta temp. på köldbärare in till VP våren år 2°C

Tillstånd från kommunen ordnar köpare ☐ säljare ☐

Börning Utförs enligt Normbrunn 07 ☐

Kostnad för foderrör.....

Kostnad vid artesiskt vatten

Grävning Utförs av köpare ☐ sälj. ☐ (återfyllning utförs av.....)

Tillsatsvärme Elpatron effekt kW, Annan källa.....

Tappvarmvatten VV-beredare typ Kapacitet.....liter

Vid kombination med frånluftsvärme:

Frånluft ☐ Frånluftflödem³/h uppges av köpare ☐ säljare ☐

Kondensvatten ☐ Avledning från luftbatteri ordnas av köpare ☐ säljare ☐

Maximalt buller ☐ Inomhusljudtryck < dB_A(var) Utomhusljud < dB_A(var)

Beräknad besparing kWh/år.....

Gammal anl. nedmonteras ☐ och transporteras bort Av köparen ☐ Av säljaren ☐

Återställning av lokaler och mark.....

.....

Objektet

Huskonstruktion lätt eller tung.(En tung konstruktion behöver lägre effekt.)

Uppvärmd ytam² Personer i huset normaltst

Byggnadsår(ÅÅÅÅ)

Hustyp, antal plan, källare, vind

.....

Belägenhet (medeltemperatur, DUT) Ort: Medel/Min.....

angivet av köpare ☐ säljare ☐

Nuvarande uppvärmning

Nuvarande **brutto**energianvändning för uppvärmning och varmvatten kWh.....(eller m³ olja t ex)

angivet av köpare ☐ säljare ☐

Nuvarande **netto**energianvändning för uppvärmning och varmvatten kWh.....(pann-verkn.gr!)

angivet av köpare ☐ säljare ☐

Nytt eller okänt objekt nedan

Beräknad nettoenergianvändning kWh

angivet av köpare ☐ säljare ☐

Beräknad nettoeffekt för uppvärmning och varmvatten kW

angivet av köpare ☐ säljare ☐

Framledningstemperatur vid DUT°C

angivet av köpare ☐ säljare ☐

Returledningstemperatur vid DUT°C

angivet av köpare ☐ säljare ☐

(DUT Dimensionerande UtomhusTemperatur när det är som kallast)

Arbetet skall påbörjas-.....-..... åå-mm-dd

Idrifttagning-.....-..... åå-mm-dd

Besiktning/övertagande-.....-..... åå-mm-dd

Fel skall vara avhjälpta-.....-..... åå-mm-dd

För extra energi förbrukad p.g.a. försening svarar säljaren för om han orsakat förseningen.

Pris inklusive moms.....kr, ROT-avdrag.....kr

För kunden att betala netto inkl. moms.....kr

Betalningsvillkor.....

Garantier

Garantitid

Försäkring

Besiktning.....
.....

För säljaren

För köparen

.....

Upplysningar för anbudsgivare:

Vid utvärderingen av denna offert kommer stor vikt att läggas vid att:

Totalkostnaden för uppvärmning blir låg: ☐ **eller** att energiförbrukningen blir låg ☐

Vid den ekonomiska analysen kommer vi att använda:

Payback-metoden ☐ Nuvärdesmetoden (=LCC) ☐ Internräntemetoden ☐

Vid användning av andra metoder än payback-metoden:

Vi kommer att använda oss av% realränta (inflationsrensad) ochårs avskrivningstid ochreal årlig energiprisökning utöver inflationen.

Våra nuvarande taxealternativ:

Fjärrvärme:

Bolag..... abonnemangsform.....

Fast avgift.....kr/år

Effektpris.....kr/kW, år

Energipris jan.....feb.....mar.....apr.....maj.....jun.....jul.....aug.....sep.....okt.....nov.....dec.....kr/MWh

Temperaturavgift/-bonus.....kr/MWh, °C

Volymrabatt Fast avgift.....kr/år Prisavdrag.....kr/MWh

El:

Bolag..... abonnemangsform.....

Avsäkring.....A

Abonnemangsavgift Enkeltariff.....kr/år Tidstariff.....kr/år

Överföringsavgift.....öre/kWh

Fast nätavgift.....kr/månad

Månadseffektavgift.....kr/kW, månad

Årseffektavgift.....kr/kW, år

Högbelastningseffektavgift.....kr/kW, månad

Överföringsavgift högbelastningstid.....öre/kWh övrig tid.....öre/kWh

Reaktiveffektavgift.....kr/kVAr, månad

Ni får bifogat fullmakt till åtkomst av elanvändning (Till Elbolaget och nätbolaget) ☐

Ni ges bifogat fullmakt till åtkomst av fjärrvärmeanvändning (Till Fjärrvärmebolaget) ☐

Val av lämpliga offertgivare

Man bör nog helst gå ut till flera anbudsgivare. Tre anbud kan vara bra vid större projekt och kanske två vid mindre projekt. Viktiga faktorer som avgör vilka entreprenörer som man bör inbjuda att lämna offert är:

- *Finns företaget i närheten?*
- *Har företaget ekonomi för att genomföra projektet?*
- *Är företaget medlem i någon branschorganisation t ex SVEP?*
- *Är företaget villigt att lämna referenser och visa tidigare anläggningar?*

Bedömning av lönsamhet

När offerter så småningom kommit in är det dags att bedöma offerternas lönsamhet utgående från vad de kostar och de energibesparingar som utfästs. I ett sådant här arbete kan Excel och andra kalkylprogram vara ett utmärkt hjälpmedel. Det finns tre vanliga metoder som även beskrivs i kapitel x:

- Payback-metoden - hur snabbt får jag tillbaka investeringen?
- Nuvärdesmetoden eller LCC-metoden - hur många kronor tjänar jag på affären?
- Internräntemetoden - vad får jag för ränta på mina pengar?

Förhandling inför beställning - incitamentsavtal?

Man får inte läcka ut upplysningar mellan anbudsgivarna för att pruta ned priset. Det är oetiskt. Det är det förmånligaste anbudet som skall antas. Sådana faktorer som anbudsgivarnas kompetens och ekonomiska stabilitet bör naturligtvis skärsåddas ytterligare (bankgaranti om entreprenören går i konkurs). Reservationer som vissa anbudsgivare lämnat men inte andra gjort bör nollställas så att det blir rättvist mellan anbudena. Om sprängning för att t ex dra fram köldbärarledningar inte ingår i anbudet från en entreprenör men gör det från en annan - måste man ju lägga på lite extra, för risken att sprängning behövs, på den förste entreprenörens anbud.

Om en entreprenör utlovar väsentligt mer än förmodat, kan man överväga att föreslå ett incitamentsavtal avseende t ex värmefaktor eller besparing. Om värmepumpen vid mätning visar sig vara väsentligt bättre än ett visst riktvärde, kan man ge en bonus till entreprenören, medan om den ger mindre, det uppstår ett vite för entreprenören. Vid sådana avtal bör man komma överens om vem som skall bedöma besparingen och även kanske ha ett intervall t ex "mellan 90 000 kWh besparing och 110 000 kWh besparing utgår varken vite eller bonus". Bonus ges om man överträffar 110 000 kWh och vite ges om man underskrider 90 000 kWh.

Energibesparing och mätning – verifikation

Kunskapen om hur stor energibesparing värmepumpar verkligen ger, är bristfällig. Mätutrustning saknas ofta helt. Om man avser att skriva ett incitamentsavtal är det naturligtvis nödvändigt att kunna verifiera en besparing eller en värmefaktor.

För villor är en komplett mätning ofta ganska dyr i förhållande till nyttan. Det är då bättre att följa upp elförbrukningen noga och se att den minskat så mycket som offerten förespeglat - samt att förbrukningen inte växer väsentligt med tiden.

En hyfsad energimätning av ett flerfamiljshus kanske kostar 1-2% av hela anläggningskostnaden. Det är mycket väl investerade pengar för att kunna kontrollera om utlovade data innehålls. Det är även efter garantitiden välinvesterade pengar eftersom man då även fortsättningsvis kan få en indikation på hur väl värmepumpen fungerar.



**7. Upphandling av bergvärmepump
- småhus**
Erik Björk

7. Upphandling av bergvärmepump - småhus

Erik Björk

Det är många saker att tänka på när man bestämt sig för att köpa en värmepump. Här följer en checklista som minskar risken att något glöms bort vid köpet. Denna lista är främst tänkt för privatpersoner med småhus, dvs. för mindre värmepumper.

Allmänna rekommendationer

Det brukar numera sägas att själva *installationen* av systemet är viktigare än val av värmepumpstyp. Om en kompressor havererar så beror det oftast på något annat än kompressorn själv. Därför bör man vara noggrann med val av installatör. Har man rekommendationer på en sådan från någon man litar på som har egen erfarenhet bör man beakta detta. Om det är möjligt så bör man köpa en *totalentreprenad*, dvs. att ett och samma företag ansvarar för att du får vad du beställt. Dessutom bör man sträva efter att beställa en funktion snarare än en produkt. T.ex. ”Jag vill ha varmt i mitt hus och i min dusch, även när det är svinkallt utomhus” snarare än ”Jag vill ha en värmepump av modell...”. Entreprenören (d.v.s. företaget som utför totalentreprenaden) har nu att utreda vilken typ av värmepump du behöver, dvs. ta reda på vilket uppvärmningsbehov ditt hus har och vid vilken temperatur du upplever att du inte fryser o.s.v. Det är här viktigt att de fakta du lämnar ifrån dig är korrekta. Är du osäker ska du helst inte säga något, eftersom det troligen är den osäkra informationen som entreprenören kommer att skylla på ifall något inte blev som det var tänkt.

Är huset nyligen inköpt?

Man ska se upp ifall huset nyligen är inköpt och föregående ägares energiuppgifter kommer från ett helt annat brukarmönster. Kanske bodde det ett äldre par i huset som förbrukade lite varmvatten och höll en låg inomhustemperatur. Detta bäddar för problem eftersom dimensioneringen av värmepumpen oftast bygger på föregående års energianvändning.

Befintligt radiatorsystem

Till en bergvärmepump behövs ett vattenburet radiatorsystem. Här får du se upp om du inte har något vattenburet radiatorsystem. Det kostar mycket att installera ett sådant och kalkylen blir helt annorlunda än om det finns ett befintligt. Räkna med minst 4-6 kkr per element. Dessutom kanske ditt befintliga radiatorsystem är för klent dimensionerat. Om detta tidigare har använts till en oljepanna, elpanna eller flispanna där framledningstemperaturen var hög (kanske 80 °C) så finns det risk att det behöver kompletteras med nya och effektivare radiatorer. Läs mer i kapitel 4.

Husets framtid

Försök att tänka efter vad som är husets framtida planer. Kommer det att ev. byggas ut? Isoleras? Kommer fönstren att bytas eller tätas? Kommer fler eller färre att bo i huset? Om huset byggs ut kan värmebehovet öka. Dessutom bör ju inte energibrunnen vara placerad där en eventuell utbyggnad kommer att ske. Om det blir fler eller färre i huset i framtiden ändras den interna värmelasten vilket påverkar värmebehovet. Är konverteringen av belysningsteknik från konventionella glödlampor till lågenergilampor klar i huset? Med moderna lampor ökar uppvärmningsbehovet. Generellt kommer lagstiftningen att verka för mer energieffektiv hemelektronik i framtiden, vilket alltså minskar den interna värmelasten och därmed ökar värmebehovet. Samtidigt är det möjligt att mängden elektriska apparater ökar i framtiden.



Figur 59. Installation som inte är fackmannamässigt utförd. Ständiga läckage!

Påverkan på klimat i pannrum

Tänk på att en installation av värmepump kan ge ett betydligt kallare pannrum än tidigare om du byter från olja eller flisuppvärmning. Detta kan kräva en fläkt eller ett extra värmeelement för att undvika problem med fukt.

Tillstånd

Kontakta kommunens miljökontor för att ta reda på vilka tillstånd som krävs för din bergvärmepumpsinstallation.

Byte av huvudsäkring

Kontrollera med ditt elbolag om du behöver ändra ditt elavtal eller ändra storleken på din huvudsäkring om du byter till värmepump.

Energibrunnens placering

Beakta eventuella utbyggnadsplaner så att inte energibrunnen blir överbyggd. Beakta att avståndet till närmaste energibrunn bör vara så stort som möjligt men minst 20 m (se dock kapitel 5). Undvik att grada (dvs. vinkla) hålet in under grannens tomt. Detta är ett intrång som kräver ett servitut. Visserligen har ingen dömts ännu för ett sådant intrång, men tomtgränsen gäller även under jord.

Försäkringar

Undersök vilka villkor som gäller för värmepumpar med din hemförsäkring. Finns det tilläggförsäkringar? Ibland erbjuder installatören/säljaren trygghetsförsäkringar. Undersök om de olika försäkringarna överlappar varandra.

Rotavdrag

Glöm inte att använda rotavdraget som ger 50 % avdrag på arbetskostnaden eller schablonmässigt 15 % total rabatt på hela kostnaden. Se www.skatteverket.se för mer information.

Skötselanvisningar

Innan entreprenören tackar för sig ska du ha erhållit skötselanvisningar på din värmepump. Insistera på att ni tillsammans går igenom dessa.

Service

Finns det service på orten? Undersök möjlighet till serviceavtal. Vid stora anläggningar brukar man kalkylmässigt räkna med att 1 % av inköpskostnaden årligen används för service.

Offert

Det brukar rekommenderas att man tar in offert från minst tre företag. Det rekommenderas också att använda företag anslutna till branschorganisation SVEP, vilket garanterar att företaget innehar nödvändiga licenser för att kunna utföra ett fackmannamässigt arbete och i enlighet med gällande lagstiftning. Kräv att företaget gör en besiktning på plats. Att skicka bilder eller att ange uppgifter över telefon ökar risken för fel. En sådan enkel sak som att värmepumpen inte kan transporteras in i tilltänkt rum eller att det inte finns tillgänglighet för borrharna skapar problem. Offerterna ska innehålla en beskrivning av vad som ingår i priset och vad som tillkommer för att få en funktionsklar anläggning. Du vill köpa en nyckelfärdig anläggning! Följande saker ska ingå i offerten:

- Pris (inklusive moms), garantivillkor, service, leverens och betalningsvillkor samt hur länge offerten gäller (bör vara minst en månad). Det är önskvärt att använda en betalningsplan där 1/3 betalas vid kontraktsskrivning, 1/3 efter installation och 1/3 när systemet är igångsatt och injusterat (i vilken ingår avluftning och inställning av värmepumpens styr och regler-system) samt att försäkringarna börjat gälla. I vissa fall accepterar företaget att all betalning sker i efterhand.
- En energikalkyl där det framgår hur mycket du kommer att spara med värmepumpen. Tumregeln är här att återbetalningstiden inte bör överstiga 10 år jämfört med ett uppvärmningssystem baserat på direktverkande el eller med befintligt uppvärmningssystem (om detta för övrigt fungerar bra).

Företagen har speciella beräkningsprogram som de använder för att ta fram ett systemförslag, och dessa kan skilja sig åt för olika företag. Ett företag kan föreslå ett djupare borrhål (dyrare) och en mindre kompressor (billigare), medan ett annat företag föreslår det omvända. Trots det kan priset vara detsamma, och båda lösningarna synbart likvärdiga. Vad som är viktigt är att företagen har räknat med samma förutsättningar. Bergets värmeledningstal ska t.ex. vara samma. Har man använt ett högre värmeledningstal får man ett bättre resultat. Men det behöver inte nödvändigtvis spegla sanningen. Den dimensionerande utomhustemperaturen (för orten) bör också vara lika för offertgivarna. Undersök också vilken jordtjocklek de räknat med. Dessa metrar ned till berggrunden är dyrare då de ska fodras med stålrör. Ingen vet med exakthet hur många meter just du har ned till berggrunden utan detta uppskattas med vägledning av erfarenhet och geologiska kartor.

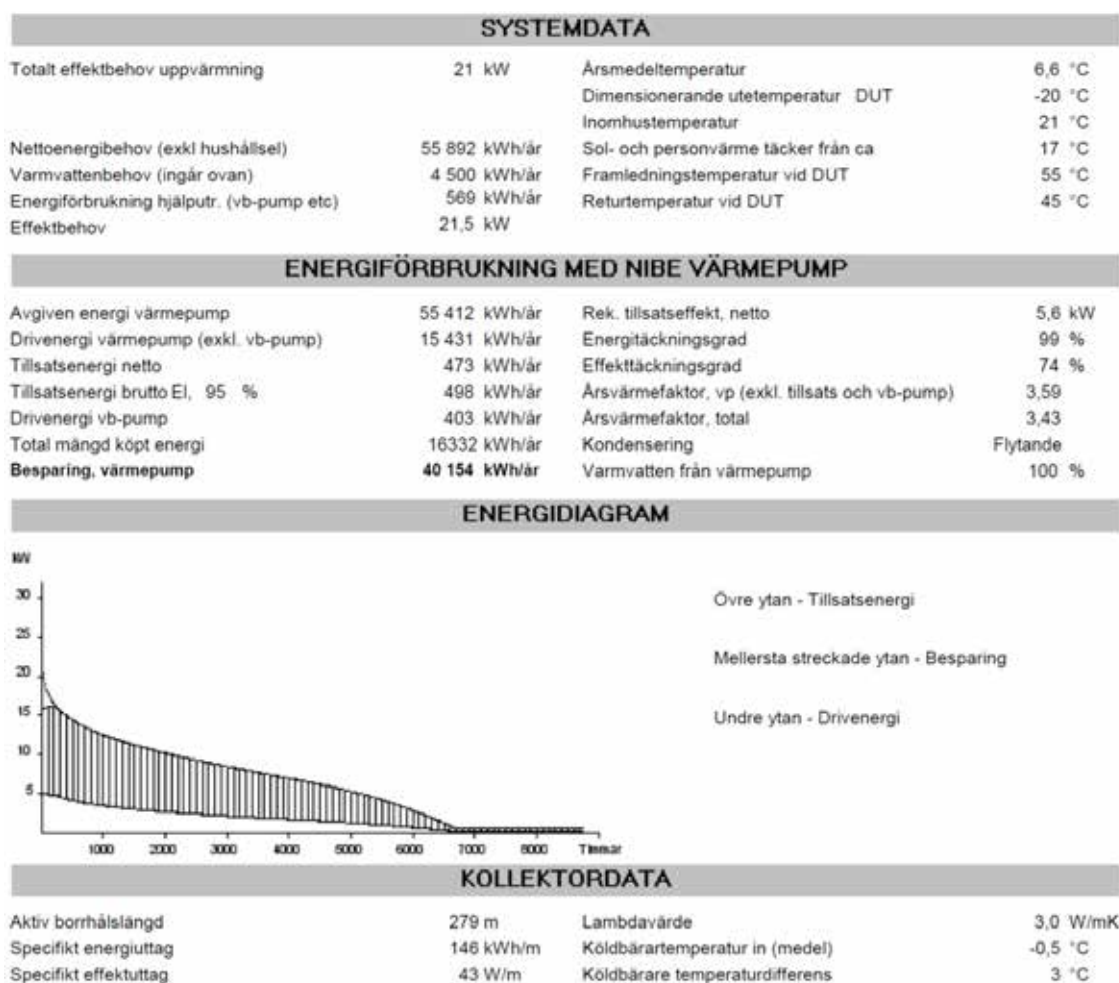
Dessutom blir husets värmebehov lite annorlunda beroende på hur företagen räknat. Det företag som har räknat med det största värmebehovet har marginalerna på sin sida, vilket ger dig minst risk att frysa i framtiden. Be också om prisuppgift på hur mycket extra det kostar per meter att borra djupare när borrhjellen ändå står på plats (inklusive slangar och bortforsling av borrhax). Se även under rubriken Borrhjell.

Dessa uppgifter ska framgå av offerten:

- Förutsättningar som använts vid beräkningar:
 - Värmeledningstal i berg (kallas ofta λ), (W/mK)
 - Dimensionerande utetemperatur (DUT), (°C)
 - Uppskattat markdjup till berg (m)
 - Inomhustemperatur (°C)
 - Framledningstemperatur vid DUT, (°C)
 - Returtemperatur vid (DUT), (°C)
- Uträknade värden:
 - Husets årliga värmebehov (kWh/år)
 - Husets effektbehov (kW)
 - Varmvattenbehov (kWh/år)
 - Tillsatsenergi (kWh/år)
 - Energitäckningsgrad (%)
 - Effekttäckningsgrad (%)
 - Aktivt borrhålsdjup (m), räknas under grundvattennivån.
- Dessa uppgifter är önskvärda:
 - Systemets balanstemperatur (°C)
 - Uppgift om extrakostnad per meter för större djup till berg än förutsatt (inklusive stålrörsfodring)
 - Uppgift om extrakostnad per meter för större borrhålsdjup än offerten anger (inklusive slangar och bortforsling av borrhax)

Här följer en lista på arbeten, material och handlingar som bör ingå i offerten. I vissa fall gör de inte det. I andra fall förhandlas de bort för att spara pengar:

- Ev. marktäckning för att skydda trädgården.
- Bortforsling av borrhax
- Grävning av dike från brunnen till husväggen
- Håltagning i husvägg
- Nedmontering och bortforsling av ersatt värmesystem, inklusive ev. tömning.
- VVS-arbete
- El-arbete
- All installationsmaterial
- Borr och provtryckningsprotokoll
- Tidplan
- Isolering av kalla sidan (risk för kondens, Fig. 61)
- Murnings, målnings (tapetsering) och snickeri arbete
- Asfatsläggning/plattläggning



Figur 60. Exempel på beräkning i offert



Figur 61. Bristfällig isolering på kalla rör inomhus. Ger kondens. Fram med droppskållarna!

Borrdjup

Det finns mycket i den här boken som talar för att man ska ta till sitt borrhål i överkant, dvs. borra djupare än vad som är optimalt för dagen ur ett strikt ekonomiskt perspektiv. Skälen till detta är:

- Energipriserna förväntas öka, även realt.
- I en framtid är det troligt att elenergiförbrukningen blir rörligt med hög kostnad under vissa perioder, t.ex. vid sträng kyla. Då är det bra om ditt hål periodvis kan belastas hårdare.
- Borrhålet förväntas hålla längre än kompressorn (ca 60 år mot 20 år). En framtida utbyteskompressor kan förväntas vara effektivare, vilket medför att mer värme måste hämtas från hålet. Det är också möjligt att nästa kompressor är varvtalsstyrd där tillsatsvärmens uppnås genom att övervarva kompressorn, vilket också leder till större värmeuttag från brunnen.
- Kommande lagstiftning verkar för mer energieffektiv hemelektronik. Det innebär mindre intern värmelast i huset och därmed ett större värmebehov.
- Priset för inkopplad effekt kan i framtiden öka. Det är möjligt att elbolagen vill ha mer betalt för storleken på din huvudsäkring vilket leder till att man bör ha högre effekttäckningsgrad på sin värmepump och därmed ett större energiuttag.
- Med längre borrhål blir temperaturen på köldbäraren högre, vilket gör att tillsatsen av etanol eller glykol kan minskas, vilket ger bättre värmeöverföring och mindre pumparbete.
- Att borra djupare när borrhälen står på plats är relativt billigt (låg marginalkostnad). Omvänt, att tilläggsborra sitt borrhål i efterhand är omöjligt. I så fall får man borra ytterligare ett hål.

Det är svårt att ange hur mycket djupare man ska borra för att "framtidssäkra" sin värmepump eftersom det beror många osäkra faktorer. Men att sträva mot ett effektuttag på ca 30 W per meter borrhållslängd bör vara önskvärt (Som jämförelse kan nämnas att det specifika effektuttaget i offerten Fig. 60 är 43 W/m).

Borrning och slangläggning

Om du har möjlighet ska du närvara vid borrningen och slangläggningen. Övervaka att borrningen når avsett djup och att slangen når botten i hålet. Övervaka att inte slangen nyps ihop och skadas under hanteringen, vilket kan ge ett tryckfall som du får betala med ökad elräkning under installationens livslängd.

Verifiera beställd funktion

Det kan vara bra att redan nu tänka på hur du ska agera ifall du inte blir nöjd med din värmepump. Ett vanligt fel är att värmepumpen inte på egen hand klarar av att hålla varmt ned till den balanstemperatur som den är dimensionerad för, vilket leder till att elpatronen måste gå in och arbeta vid allt för hög utomhustemperatur. Besparingen blir då inte så stor som utlovats. Många gånger är felet något som kan åtgärdas, t.ex. genom att lufta elementen eller att rensa filter i radiator- eller köldbärarkrets (Se kapitel 4 och 8), men andra gånger är värmepumpen helt enkelt underdimensionerad. När det gäller den utlovade energibesparingen så är det bästa sättet för att visa att värmepumpen är underdimensionerad att utrusta den med elenergimätare. Helst då en extern som mäter hela värmepumpens och de två cirkulationspumparnas elförbrukning. Andra metoder är att noggrant jämföra elräkningen på jämförbara (med avseende på temperatur), vintrar eller vintermånader före och efter värmepumpsinstallationen. Men betänk då att även andra elförbrukare i huset ingår, vilket gör denna jämförelse svår. Ytterligare en metod som kan fungera är ifall du har möjlighet att göra en dygnsvis avläsning av husets elmätare (Undersök om elbolaget erbjuder denna tjänst på nätet). Om denna dygnsvisa elförbrukning plottas mot ortens dygnsmedelutomhustemperatur (som kan erhållas från www.temperatur.nu) kommer en sammanhängande (om än lite taggig) linje att kunna skönjas som lutar uppåt med minskande utomhustemperatur. Vid någon temperatur bör linjen uppvisa ett brott där lutningen blir brantare. Detta är balanstemperaturen, under vilken din elpatron får hjälpa till med att hålla värmen. Om du är intresserad av att använda denna metod bör du be att få balanstemperaturen specificerad på offerten.

Om man trots allt inte är nöjd med sin värmepump ska man först vända sig till entreprenören med sina klagomål. Om man inte heller är nöjd efter detta ska man vända sig till VPN (Värmepumpsnämnden) med sin tvist: www.svepinfo.se.



8. Trimma ditt system

Jan-Erik Nowacki

8. Trimma ditt system

Jan-Erik Nowacki

Vi har idag över en miljon befintliga värmepumpar i Sverige. Naturligtvis kommer nya värmepumpar att bli effektivare. Värmefaktorn har faktiskt ökat med 1,5 % om året under de senaste 30 åren. Problemet är de existerande värmepumparna och systemen - hur gör man dem effektivare? Frågan är om användarna kan göra något kostnadseffektivt för att öka sin energibesparing med en befintlig värmepump innan den faller för ålderstreck. Först kommer mycket enkla och billiga underhållsåtgärder att tas upp, sedan kommer sådant som kräver investeringar eller större ingrepp/överväganden att behandlas.

Enkla underhålls åtgärder

Observera larm

Det är bra att säkerställa att ett eventuellt larm i värmepumpen också observeras av brukaren. Ofta syns ett larm bara på värmepumpens kontrollpanel där man sällan ser det. Det kan innebära att t.ex. ett trivialt fel medför att man under lång tid kör på el tillsats, utan att någon noterar det. Kanske kan man installera en liten röd lampa installerad i köket. Om det är något fel på värmepumpen lyser den och det är troligare att man noterar det. Det finns också andra mer sofistikerade sätt, t.ex. SMS om man har mobilanslutning till värmepumpen. Ibland kan mobilen då också ge möjlighet att fjärrstyrning om man är bortrest.

Rensa filter

Det finns mer beskrivet om detta under avsnittet "Radiators och andra värmeavgivare". Vanligen finns det filter både på varma och kalla sidan av en värmepump. De kan se ut så här på en äldre värmepump.



Figur 62. Vänster: Filter (ofta undanskymda), Höger: Ett filter med föroreningar.

Man stänger av på båda sidor om filtret och tar sen ut filtret genom att gånga av den stora muttern. Det är speciellt viktigt att rensa filtren ifall man vidtagit någon åtgärd i systemen - t.ex. bytt radiatorer eller på något sätt gjort ingrepp i köldbärarkretsen.

Kolla synglas

Inte alla värmepumpar har synglas numera - det är synd för det ger en bra förvarning ifall köldmediet håller på att läcka ut. Synglas ser ut så här på en äldre värmepump.



Figur 63. Synglas

Det skall inte synas bubblor eller gas i synglasen när värmepumpen kommit in i stabil drift. Den lilla pricken i mitten skall vara grön - annars finns det fukt i systemet.

Kolla temperaturdifferenser

Temperaturdifferensen mellan inkommande vatten från radiatorerna och det utgående vattnet till radiatorerna är normalt 5-10 grader. Om den oförklarligt skulle börja sjunka kan det vara tecken på att värmepumpens effekt avtar. Om den oförklarligt skulle börja stiga kan det vara ett tecken på smutsfiltret håller på att sätta igen. Har man termostatventiler i systemet kan dessa emellertid också påverka flödet.

När det gäller köldbärarflödet så ligger temperaturdifferensen mellan det medium som kommer upp ur hålet och det som går i retur till hålet runt 2-4 °C. Om den temperaturdifferensen minskar kan det också vara ett tecken på att värmepumpens effekt av någon anledning avtar. Om temperaturdifferensen istället ökar kan det bero på smuts i filtret, utläckt köldbärare, luftfickor i köldbärarkretsen eller försämrade cirkulationspump.

Ställ in radiatorsystemet för värmepump

När man installerat värmepump skall man försöka hålla framledningstemperaturen så låg som möjligt. Då behöver värmepumpen inte lyfta värmen lika högt och den kräver mindre elenergi. Mer om hur man ställer in systemet finns i avsnittet "Radiatorsystem och andra värmeavgivare".

Lite större åtgärder

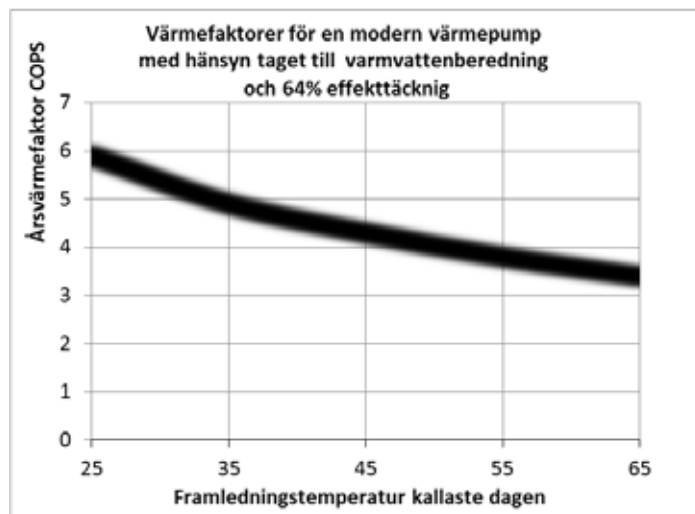
Det man framförallt kommer att tänka på är åtgärder för att sänka framledningstemperaturen till radiatorerna, höja den inkommande temperaturen från berget, styra värmepumpen bättre, få bort spetsvärmebehovet och att få ett mått på värmefaktorns utveckling.

Sänka framledningstemperaturen

När man varaktigt sänker framledningstemperaturen blir årsvärmefaktorn (SCOP) högre. Normalt finns en reglering inbyggd som styr framledningstemperaturen till radiatorerna så att den blir högre ju kallare det blir ute. Denna funktion kallas ofta för "kurvan" i branschen. "Standardvärdet" för kurvan antas ofta var 55 °C framledning till radiatorerna och 45 °C i retur från radiatorerna på årets kallaste dag - då DUT (kallas också DVUT²¹) råder utomhus (t.ex. -20 °C). Det skrivs ofta 55/45 vid DUT. Det är alltså denna kurva man skall försöka pressa ned redan från värmepumpen. Radiatortermostater skall normalt ställas på max, så de släpper igenom så mycket vatten som möjligt.

²¹ www.boverket.se, Dimensionerande vinterutetemperatur DVUT

När man justerat in kurvan så att även det kallaste rummet fått en acceptabel temperatur en molnig vinterdag, ställer man sen tillbaka radiatortermostaterna på 20 °C rumstemperatur i de rum där man t ex förväntar sig stark solinstrålning. Vinden bör vara normal för orten och solinstrålningen begränsad eftersom man annars kan komma att ställa kurvan antingen för lågt eller för högt.



Figur 64. Det är bra att sänka framledningstemperaturen

Större radiatorytor

Om man ändå skall byta radiatorer, komplettera radiatorsystemet eller bygga nytt kan det vara lönsamt att göra något som idag uppfattas som ett extremt lågtemperatursystem (t ex 35 °C fram vid DUT). Konvektorer med inbyggd fläkt är mycket effektiva för detta. Golv- eller takvärme kan också drivas med låga framledningstemperaturer. Det är vanligen det sämsta rummet med sämst isolering och minsta radiatorytan, relativt sett, som får styra temperaturkurvan för hela huset. I hus med golvvärme som kanske bara kräver 30 grader fram, kallaste dagen, är det inte ovanligt att man på övervåningen har radiatorer som kräver 55 grader fram. Golvvärmen shuntas då ned, från 55 till 30 °C, medan värmepumpen arbetar på med 55 grader fram och dålig ekonomi. Radiatorerna på övervåningen borde göras så stora att de kan arbeta med golvvärmesystemets temperaturnivåer. Tekniskt skulle man kunna säga att kvoten $UA_{\text{radiator}}/UA_{\text{rum}}$ i alla rum bör vara lika. Större radiatorytor är bra att ha i rum som läcker ut mycket värme!

Elementfläktar i befintliga hus

Genom att installera elementfläktar på radiatorerna kan man sänka framledningskurvan på radiatorerna väsentligt. Det är lönsammare att installera fläktarna ju högre temperaturer radiatorsystemet kräver. På system där man redan idag har en låg framledningstemperatur, kallaste dagen (lägre än t ex 45°C), lönar sig installationen sämre ekonomiskt.

Om bara några få rum känns speciellt kalla blir installationen just där mycket lönsam. Genom att bara installera elementfläktar i dessa rum, kan man ju sen till låg kostnad sänka framledningskurvan i hela huset.

Golv och takvärme

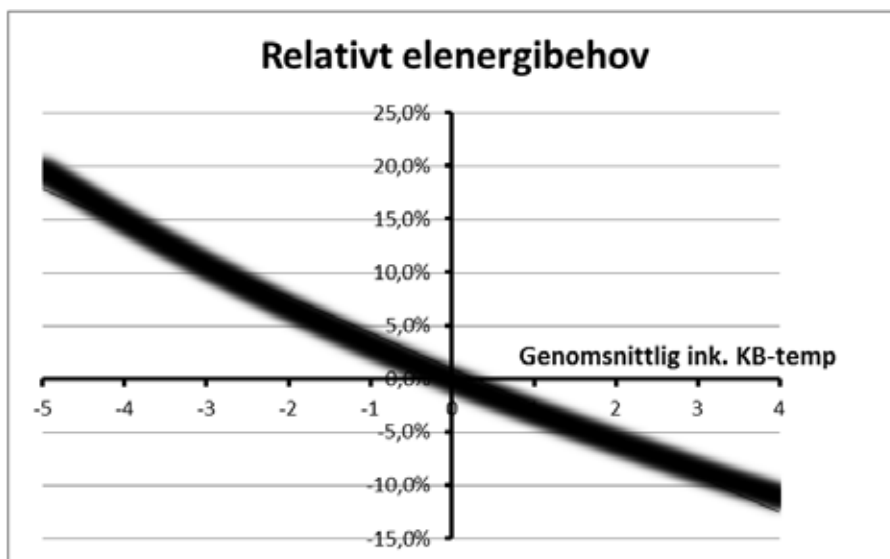
Närhelst man vill göra om ett innergolv eller innertak bör man åtminstone överväga vattenburen golv- eller takvärme där. Det är dock viktigt att dessa system också blir välisolerade mot kall omgivning. Annars kan det leda till att värmeförbrukningen ökar mer än vad man tjänar på att värmefaktorn också ökar. Isoleringen mot mark och utomhusluft bör nog vara minst 250 mm tjock.

Höja den inkommande köldbärartemperaturen?

Här finns flera förslag till värmekällor som kan värma upp berget eller öka den inkommande köldbärartemperaturen direkt: Solvärmeöverskott, utnyttjande av frånluftens värmeinnehåll och utluftbatterier är de vanligaste. Det finns också metoder som skall minska värmemotståndet från berget till köldbärarlösningen så att den bättre kan ta upp värmen. Om man använder värmepumpen för kylning av huset under sommaren - så får huset agera solfångare åt brunnen - en vinn-vinn lösning.

Det är alltid bra att utnyttja tillgänglig (gratis-)värme direkt för att värma den inkommande köldbärarlösningen från ett borrhål lite till. Att köra ned överskottsvärme i borrhålet för att hämta upp värmen senare är inte alltid lika bra. Att lagra överskottsvärme under dagtid till natten är enklare än att lagra sommarens värme till vintern. För ett enskilt borrhål finns det ju alltid en viss risk att värmen hinner "flyta bort" innan man skall använda den. För ett större fält av borrhål är det dock sannolikare att värmen finns tillgänglig när man skall ta upp den.

Om man har ett enskilt hål som blir kallare och kallare år från år är det en indikation på att värme inte tillförs hålet särskilt bra (hålet är underdimensionerat). Det är då också en indikation på att värme inte heller kommer att bortföras från hålet om man tillför värme. Sådana hål borde alltså vara speciellt tacksamma att "överladda" med värme, så att de facto blir bättre än ett normalt hål. När det gäller vinsten med att få in varmare köldbärare illustreras det med en exempelfigur nedan. Exemplet är taget ur ett tillverkarprogram (Vitocalc) för en modern värmepump. Den har vid 0 °C genomsnittlig inkommande köldbärartemperatur antagits ge cirka 64 % effekttäckning. Eftersom inte bara värmefaktorn försämras när källans temperatur sjunker, utan också den effekt i kW, som värmepumpen får, är det rimligt att se på en relativ drivenergiförbrukning. En elpatron har antagits gå in när inte värmepumpen kan täcka effektbehovet längre. Ungefär så här ser det ut då:



Figur 65. Relativa elenergiebehovet inklusive spets-el som funktion av den inkommande genomsnittliga köldbärartemperaturen när den varierar från 0 grader.

Grovt sett kan man säga att elbehovet minskar 3,4 % per grad som man lyckas höja köldbärartemperaturen.

Solvärme

Ett av de företag som hållit på längst inom detta område är EviHeat. De utnyttjar solenergin på flera sätt. I första hand för direkt värme och varmvattenproduktion, i andra hand för att förvärma den inkommande köldbäraren och i tredje hand för att värma borrhålet.

Frånluftsvärme

Värmen i frånluften finns tillgänglig hela året - så även om det inte finns så stor effekt att hämta blir energimängden förhållandevis stor på grund av de många timmarna. En förutsättning för att kunna använda energin i frånluften är att den är lättillgänglig dvs. samlad i inte alltför många utlopp. För att använda sig av värmen behöver man dock också ofta köra en extra cirkulationspump. Det är viktigt att den vinst i form av minskad driftel man får med återvinningen av värmen ur frånluften inte äts upp av en ökad pumpenergiåtgång.

Om frånluftsvärmen bara används för att direkt värma upp den inkommande köldbärarvätskan lite till efter borrhålet, kanske den typiskt blir 0,5-1 grader varmare på grund av det. Om det t ex krävs 25 000 kWh för uppvärmning inkl. ventilation och varmvatten totalt, blir vinsten kanske 3 % av 25 000/3,5 där 3,5 är värmefaktorn. Det blir en vinst på endast drygt 200 kWh el/år.

Om frånluftsvärmen också används för att minska temperatursänkningen i ett kallt borrhål kommer borrhålet att återföras kanske hälften av den värme man tar ut. Det kan innebära att borrhålet kan fortsätta användas istället för att borra ett nytt hål eller ett kompletteringshål - vilket är en stor vinst.

Luftkonvektor

En luftkonvektor kan också användas för att ladda borrhålet. Den kan se ut ungefär som utomhusdelen i en liten luft/luftvärmepump. Sådana batterier är billigare än solfångare. Återladdningen av brunnens är endast meningsfull om den sjunkit lågt ned i temperatur. Om det rinner mycket vatten genom brunnens så att den t ex "återgenereras" och blir +5 °C varje höst, blir vinsten liten. Värmen hinner ju då också flyta bort.

Förbättrad kontakt mellan berg och köldbärare

Typiskt är temperaturdifferensen mellan brunnsväggen och köldbäraren 3-4 grader i en vanlig brunn med U-rörskollektor. Om man kunde bli kvitt den temperaturdifferensen skulle man alltså typiskt kunna uppnå 10 % lägre elförbrukning. Det finns ett försöksprojekt på gång på KTH²² som är mycket lovande och som till och med kan medföra en något bättre besparing än 10 %, samtidigt som man bara använder rent vatten utan frostskyddsmedel som köldbärare. Man klär in hålets väggar med en tunn plaststrumpa och använder sen bara ett enda rör ned till brunnens botten. Vatten används som köldbärare och får gå ned nedkyllt till brunnens botten och berguppvärmt vatten sugas sen upp från vattenytan i brunnens och leds till värmepumpen. Denna lösning kräver visserligen att man har så bra brunn att man hela tiden kan köra utan att vattnet fryser i förångaren. Är brunnens för dålig får man borra en ny/en till. Med en varvtalsreglerad värmepump kan man som en säkerhetsåtgärd styra ned varvtalet så att det inte fryser i förångaren.

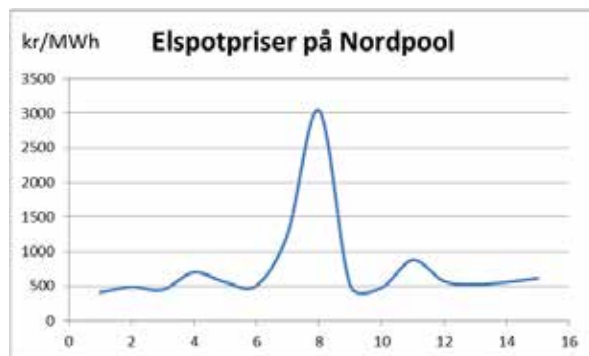
Andra sätt att förbättra värmeövergången är att fylla brunnens med t ex kvartssand utanför de befintliga slangarna. Vattenmättad kvartssand har fyra gånger bättre värmekonduktivitet (2,4 - 2,7 W/mK jämfört med 0,6 för vatten)²³ än det vatten som finns i brunnens - och är förhållandevis billigt.

²² Acuña, J., 2013, Distributed thermal response tests – New insights on U-pipe and Coaxial heat exchangers in groundwater-filled boreholes, Doctoral Thesis in Energy Technology, KTH, Stockholm, Sweden

²³ Rosén m.fl., System för värme och kyla ur mark - En nulägesbeskrivning, STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

Styra värmepumpen bättre

Redan till årsskiftet 2012/2013 kommer priserna på NordPool att bli tillgängliga för det kommande dygnet. Samtidigt kommer en övergång till timmesavläsning av elmätaren. Om man då, genom att utnyttja t ex husets tröghet och låta husets temperatur sjunka några grader, kan undvika att köpa den dyraste elen, kommer man att kunna spara både pengar och miljö. Normalt har ett småhus en tidskonstant på cirka 36 h.



Figur 66. Dagspriserna på NordPool - kommer att variera mer i framtiden med mer vindenergi i nätet.

Speciellt intressant kommer det att bli när de kommande priserna på Nordpool och väderförutsikterna samkörs - här kan man nog förutse att en hel del nya produkter kommer att se dagens ljus. Speciellt intressant blir det när dessa produkter kommer att själva kunna nå informationen om elpriser och klimat.

Bli av med spetsen

Om priserna på topp-el eller utnyttjad maxeffekt skulle bli höga kan man skaffa en mycket enkel gasolbrännare eller "diesel-motorvärmare" som kan starta på signalen till elpatronen när det behövs.

Om man gör små enkla värmepumpar som är ungefär lika stora som spetseffekten, kan man driva dem på elen till elpatronen. Man installerar en enkel 6 kW värmepump utan allt lull-lull, bygger den kompakt, och ställer den ovanpå huvudvärmepumpen. Sen kopplar man ur elpatronen och driver kontaktorn till den nya lilla värmepumpen med signalströmmen till den urkopplade elpatronen. Den nya enkla värmepumpen kopplas i serie med den gamla på både varma och kalla sidan. Tryckfallen i kondensor och förångare på vätskesidan skall därför vara små för en sådan värmepump. Värmepumpen tillåts momentant överbelasta borrhålet några timmar utan att det får någon betydelse. Därigenom kommer cirka 2/3 av spetseffekten att försvinna. En enkel frekvensomvandlare för 75 Hz skulle kunna höja kompressorns varvtal med 50 % under en viss inställd tid. Normalt skulle den naturligtvis vara urkopplad. Allra enklast är kanske installation av en pellets eller vedkamin - den värmer även om elen faller bort helt - vilket man inte ska negligera. Den enklaste lösningen är förstås att behålla den gamla pannan om den inte är alltför fallfärdig.



I den här boken får du lära dig mer om bergvärmepumpar:

- Funktion
- Lönsamhetskalkyl
- Radiatorsystemet
- Berget
- Kollektorn
- Upphandla
- Trimma

