



**KTH Industrial Engineering
and Management**

KEX

—

Komplettering av befintlig bergvärmekälla med en ny effektiv värmepump och uteluftkonvektor

Anders Ramqvist

Martin Länsmans

Kandidatexamensarbete

KTH – Skolan för Industriell Teknik och Management

Energiteknik EGI-2014

Bachelor of Science Thesis EGI-2014



**KTH Industrial Engineering
and Management**

Komplettering av befintlig bergvärmekälla med en ny effektiv
värmepump och uteluftkonvektor

Anders Ramqvist

Martin Länsmans

Approved	Examiner	Supervisor
	Catharina Erlich	Joachim Claesson
	Commissioner	Contact person
		Martin Länsmans

Abstract

This project aims to investigate the advantages a smaller family household could obtain by using a borehole heat exchanger with an outdoor convector after switching to a more efficient heat pump. The outdoor convector serves as a complement to the existing borehole that is not sufficient for the new heat pump.

The outdoor convector is able to recharge the borehole during warm days when the energy need of the household is low. The results of this project will be evaluated by looking at the coefficient of heat performance (COP) and the borehole temperature.

Models of how the household energy varies during a year in consideration with the Swedish building standards have been taken into account. The size of the new heat pump was adjusted to the total energy needs of the house.

During the project the applications Excel and Matrix Laboratory were used. These applications were used to calculate and present the data of changes in borehole temperature as well as the yearly COP of the system.

By recharging the borehole during warm days, the durability and COP increase compared to using only the borehole. This system proves to be beneficial for households that choose to replace their old heat pump with a new.

Sammanfattning

Projektet avser att undersöka vilka fördelar ett mindre familjehus kan dra av ett kombinationssystem med bergvärme och en uteluftkonvektor vid byte till en mer effektiv bergvärmepump. Uteluftkonvektorn är ett komplement till det befintliga borrhålet som är underdimensionerat mot den nya bergvärmepumpen. Under sommarhalvåret drivs utekonvektorn för återhämtning av hålet. Vid de varmaste dagarna på året återladdas även borrhålet av utekonvektorn.

I detta arbete undersöks hur den årliga värmefaktorn och temperaturen i borrhålet påverkas av en kombinationslösning jämfört med att endast använda energibrunnen.

En analys gjordes på hur husets effektbehov varierar under ett år med hänsyn till svensk byggnorm under 1980-talet, då huset byggdes. Från denna information kunde de olika driftfallen undersökas och fastställas. Bergvärmepumpen hämtades från Bosch och dimensionerades efter husets totala energibehov. Beräkningsprogram som användes var Microsoft Excel och Matrix Laboraty. I dessa program undersöktes och presenterades data över hur borrhålstemperaturen ändras, temperaturen på köldbäraren och den årliga värmefaktorn.

Resultatet som togs fram visar att återladdning under varma sommardagar höjer borrhålstemperaturen och ger högre årsvärmefaktor jämfört med att enbart använda energibrunnen. Systemet visar sig därför fördelaktigt för hushåll som ska byta ut sin gamla bergvärmepump.

Innehållsförteckning

Abstract	i
Sammanfattning	ii
Nomenklatur.....	1
1 Introduktion.....	2
2 Problemformulering och mål	3
2.1 Avgränsningar	3
2.2 Fördjupning	3
3 Övergripande system.....	4
3.1 Effektbehov	6
3.1.1 Transmissionsförluster	6
3.1.2 Ventilationsförluster.....	6
3.1.3 Tappvarmvatten.....	6
3.1.4 Gratisvärme	6
3.2 Radiatorsystem	7
3.3 Bergvärmepump	9
3.4 Bergvärme	11
3.5 Borrhålstemperatur.....	12
3.6 Uteluftkonvektor	14
3.7 Återladdning.....	16
4 Resultat från modellering	17
5 Slutsats	20
5.1 känslighetsanalys.....	21
Litteraturförteckning	22
Bilagor.....	1
Bilaga 1 – projektets tidplan.....	1
Bilaga 2 – Matlab	2

Nomenklatur

Benämning	Tecken	Enhet
Area	A	m^2
Termisk diffusivitet	α	m^2/s
Värmekapacitetsflöde	C	$J/(m \cdot s)$
Värmekapacitetsgrad	C_k	$[-]$
Specifik värmekapacitet	c	$J/(kg \cdot K)$
Värmeväxlarens effektivitet	ε	$[-]$
Djup på borrhål	H	m
Värmeledningstal	k	$W/(m \cdot K)$
Massflöde	\dot{m}	Kg/s
Radiatorrexponent	n	$[-]$
Effekt	P	W
Densitet	ρ	kg/m^3
Effekt per meter	Q	W/m
Effekt per Kelvin	q	W/K
Radie på borrhål	r_b	m
Temperatur	T	$^{\circ}C$
Tid	t	s
Tidsskalefaktor för Yavuzturk	t_s	s
Värmeövergångstal	U	$J/(m^2 \cdot K)$
Volymflöde	\dot{V}	m^3/s

1 Introduktion

Många bergvärmepumpar är idag gamla, ineffektiva och måste ersättas. Moderna värmepumpar är dimensionerade för att klara mer än 95% av ett hus totala värmebehov per år (Energimyndigheten, 2014). Pumpar från 1980-talet var enbart dimensionerade för att täcka cirka 70% av värmebehovet. Gamla borrhål som var anpassade efter äldre värmepumpar blir därför underdimensionerade vid byte till en mer modern värmepump. Detta kan leda till sänkt grundvattentemperatur och isbildning kring kollektorslangen.

Frysningen uppstår till en början i bergvärmehålets övre del och sprider sig nedåt. Till en början bidrar isbildningen till ökad värmeledningsförmåga som ger ett högre energiuttag. Vid kraftigare isbildning kan däremot kollektorslangen strypas och flödet minska, vilket skapar allvarliga problem för de drabbade hushållen (Bergvärme för den intresserade).

För att täcka det energiuttag som moderna värmepumpar idag kräver och samtidigt behålla den tekniska livslängden på hålet är det möjligt att borra ett nytt hål eller kombinera med en ny energikälla. I denna rapport undersöks ett kombinationssystem av bergvärme och en uteluftkonvektor.

2 Problemformulering och mål

Tre olika driftfall undersöktes och utvärderades. Dessa driftfall drivs vid olika utomhustemperaturer och formuleras nedan.

Vid låg utetemperatur då borrhålet är mer effektivt att använda för uppvärmning.

Vid tillräckligt höga utomhustemperaturer är det enbart uteluftkonvektorn som värmer huset. Detta ger borrhålet möjlighet till återhämtning.

Då utehustemperaturen är hög och huset inte behöver värmas lika mycket så återladdas borrhålet. Således är det den varma uteluften som värmer borrhålet till bekostnad av pump- och fläktarbete för cirkulationen.

Ett kombinationssystem kan leda till en ökning av effektiviteten hos värmepumpen samt en minskning av påfrestningen på borrhålet, som får en längre teknisk livslängd. Det skulle även vara möjligt att variera driftfallen under olika årstider för att använda respektive system då det är som mest effektivt. Under sommarhalvåret kan till exempel uteluftkonvektorn drivas samtidigt som borrhålet återhämtas eller återladdas. Således fungerar marken som ett termiskt lager där värme lagras under sommaren som sedan kan användas under vintern.

Under en längre period skulle ett kombinationssystem kunna vara både hållbart och energieffektivt.

2.1 Avgränsningar

I denna rapport behandlas ett mindre hus på 120 m² i Falun från 1980-talet. Husets utformning baseras på de regler och krav som utgivits från svensk byggnorm, där regler gällande ventilation och värmeledning behandlas (Svensk Byggnorm, 1980). Ingen renovering av huset har gjorts sedan det byggdes, därför kan kraven för Boverket 1980 anses gälla för huset.

Temperaturdata från Falun 2013 har enbart beaktats vid modellering (Temperatur, 2014). Vid längre tidsperioder betraktas 2013 års temperaturdata som ett normalår.

Tryckfall för systemet har ej beaktats vid modelleringen och pump- samt fläktarbete har antagits konstanta vid drift.

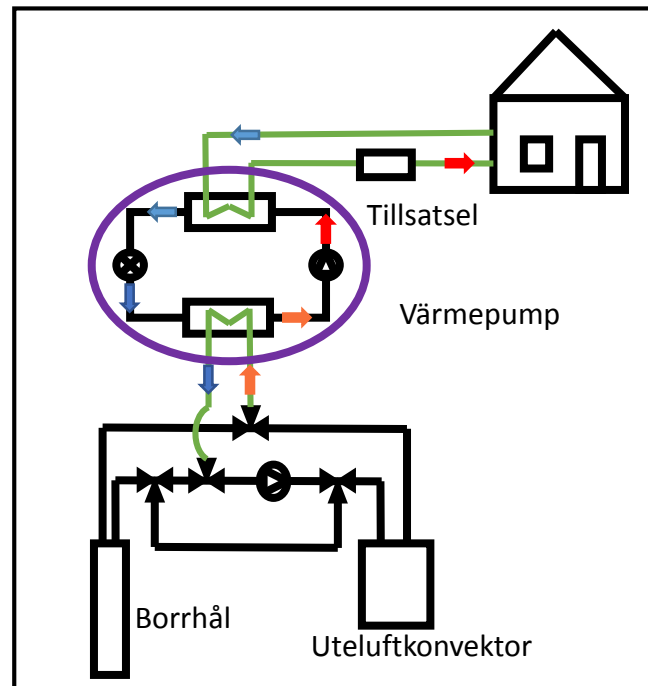
2.2 Fördjupning

Vid mer ingående analys undersöks hur olika diffusivitet i marken påverkar årsvärmefaktorn och temperaturen i borrhålet. Diffusivitet är markens förmåga att leda energi gentemot att lagra den. De olika driftfallen kommer att analyseras och sedan jämföras för olika diffusivitet. Presenterad data med varierande diffusivitet visas senare i rapporten.

3 Övergripande system

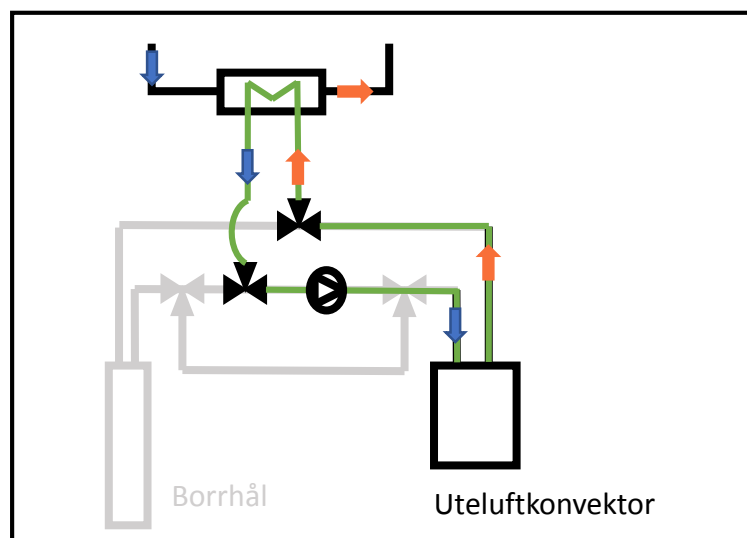
Systemet är uppbyggt av en värmepump som arbetar mot en uteluftkonvektor eller ett borrhål. Det är även utformat för att kunna återladda borrhålet med värme från uteluften då huset har ett lågt effektbehov och utetemperaturen är hög. **Figur 1** visar hur kombinationssystemet skulle kunna se ut.

Tillsatsen används då utomhustemperaturen är låg och borrhålet inte räcker till för att värma huset till önskad temperatur inomhus.



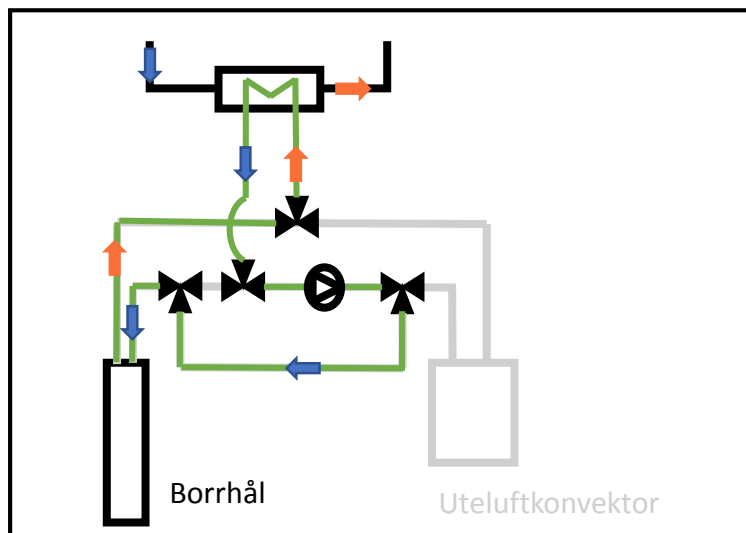
Figur 1, bilden visar hur systemet är uppbyggt och hur de olika källorna är kopplade till värmepumpen.

Driftfallet då enbart uteluftkonvektorn används visas i **Figur 2**. Värmepumpen är då kopplad direkt till uteluftkonvektorn genom en värmeväxlare. En cirkulationspump mellan värmeväxlaren och konvektorn får köldbäraren att cirkulera och överför på så sätt värme från uteluften till värmepumpen.



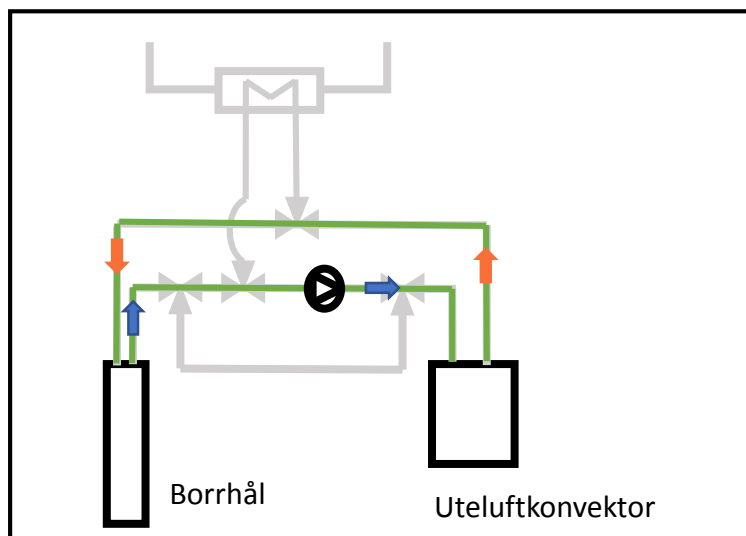
Figur 2, bild som visar hur systemet är kopplat då enbart konvektorn arbetar mot värmepumpen.

Driftfallet då enbart borrhålet används visas i **Figur 3**. Då är borrhålet kopplat till värmepumpen genom en värmeväxlare. Samma cirkulationspump som i **Figur 2** används nu för att cirkulera köldbäraren mellan borrhålet och värmepumpen. Skillnaden mellan **Figur 2** och **Figur 3** är vilka ventiler som är öppna respektive stängda och på så vis är det möjligt att styra till vilken källa som köldbäraren cirkulerar.



Figur 3, visar driftfallet med enbart borrhålet kopplat till värmepumpen, de aktiva komponenterna syns i klara färger.

Det tredje och sista driftfallet är då borrhålet återladdas. Då kopplas värmepumpen bort från systemet och cirkulationspumpen låter köldbäraren cirkulera mellan konvektorn och borrhålet. De båda ventilerna till värmepumpen är i detta fall stängda.



Figur 4, visar driftfallet då borrhålet är kopplat direkt till uteluftkonvektorn och tillåter återladdning.

3.1 Effektbehov

Vid beräkning av husets totala effektbehov ingår transmissionsförluster, ventilationsförluster, tappvarmvatten och gratisvärme. Då inomhustemperaturen antas hållas konstant kan det totala effektbehovet skrivas som **ekvation 3.1** (Jensen, 2001).

$$P_{tot} = (q_{trans} + q_{vent}) \cdot (T_{inne} - T_{ute}) - P_{gratis} + P_{tapp} \quad (3.1)$$

q_{trans} och q_{vent} och tar hänsyn till husets ventilations- och transmissionsförluster. T_{inne} och T_{ute} är temperaturen inomhus respektive utomhus. P_{gratis} är tillkommande effekt från solinstrålning, personvärme och elektronik och P_{tapp} är effekten som krävs för att värma husets tappvarmvatten.

3.1.1 Transmissionsförluster

Transmissionsförluster behandlar värmeövergången genom väggar, dörrar, fönster, golv och tak på huset. Storleken av värmeförlusten beror på värmemotståndet och arean av samma del. Värmemotstånd för olika delar av ett hus hämtades från Boverket (Svensk Byggnorm, 1980). Ingen hänsyn till husets punktformiga köldbryggor har tagits (Jensen, 2001).

$$q_{trans} = \sum_i U_i A_i \quad (3.2)$$

U_i och A_i är värmeövergångstalet samt arealen för varje vägg.

3.1.2 Ventilationsförluster

Tillförsel av ny luft in i huset kräver energi för uppvärmning. Den minsta rekommenderade luftomsättningen som gäller för hela huset valdes från Boverket (Svensk Byggnorm, 1980). I denna uppskattning tas ingen hänsyn till värmeåtervinning från den utströmmande luften. Bidraget av luftläckage tillkommer även enligt Boverket (Svensk Byggnorm, 1980). Dessa uppstår i form av sprickor och otätheter i byggnaden. Ekvationen för ventilationsbidraget kan då skrivas enligt Jensen (Jensen, 2001).

$$q_{vent} = \rho_l \cdot c_p \cdot \dot{V}_{vent} + \rho \cdot c_p \cdot \dot{V}_{läck} \quad (3.3)$$

\dot{V}_{vent} är ventilation in i huset, $\dot{V}_{läck}$ är läckaget och självdraget från ventilationen och ρ_l är densitet för luft.

3.1.3 Tappvarmvatten

Ungefär en femtedel av det totala uppvärmningsbehovet går åt för att värma tappvarmvatten (Energimyndigheten, 2014). Dusch och kranvatten är några delar utav hushållet som drivs av detta uppvärmningsbehov. Då användandet av tappvarmvattnet varierar timvis under dygnet uppskattades en procentuell fördelning med ett tidssteg på sex timmar.

3.1.4 Gratisvärme

En del effekt uppstår i form av solinstrålning, personvärme och värmeavgivning från elektronik. Gratisvärmen minskar effektbehovet och varierar både timvis under dygnet och säsongvis över året. En grov uppskattning antogs vid uppskattning utav detta bidrag enligt värmebehovsberäkning från Jensen (Jensen, 2001). Enligt Jensen blir bidraget i ett medelstort hushåll cirka 2000 kWh per person och år (Jensen, 2001). En procentuell fördelning på sex timmars tidssteg gjordes samt en säsongvis uppskattning baserat på årstid.

3.2 Radiatorsystem

Uppvärmningen av huset sker genom ett radiatorsystem. I detta system antas uppvärmningen fördelas jämnt så att temperaturen inomhus kan betraktas som konstant. Radiatortemperaturerna är av intresse för att det är den temperaturen som värmepumpen ska avge vid ett visst tillfälle.

I huset antogs ett 55/45-system, vilket innebär att framledningstemperaturen respektive returtemperaturen vid dimensionerande utetemperatur (DUT) är 55 grader Celsius respektive 45 grader Celsius.

En kurva för hur radiatorernas framledningstemperatur och returtemperatur beroende på utetemperaturen beräknades enligt Joachim Claesson (Claesson). "Radiatorkurvan" fås fram genom att bestämma konstanterna K_1 och K_2 vid DUT på följande sätt

$$K_1 = \frac{\left(\frac{T_{fram} - T_{retur}}{\ln\left(\frac{T_{fram} - T_{inne}}{T_{retur} - T_{inne}}\right)} \right)^{1+n}}{T_{fram} - T_{retur}} \Bigg|_{DUT} \quad (3.4)$$

$$K_2 = \frac{T_{inne} - T_{ute}}{T_{fram} - T_{retur}} \Bigg|_{DUT} \quad (3.5)$$

Där T_{fram} är framledningstemperaturen och T_{retur} är returtemperaturen vid DUT, n är en exponent för radiatorn hämtad från Balancing of Radiator systems (Petitjean, 2002), T_{inne} är temperaturen inomhus och T_{ute} är DUT.

Två hjälpvariabler a och b beräknades enligt Claesson

$$a = K_2 \cdot e^{\frac{\ln\left(\frac{k_1(T_{inne}-T_{ute})}{k_2}\right)}{1+n}} \quad (3.6)$$

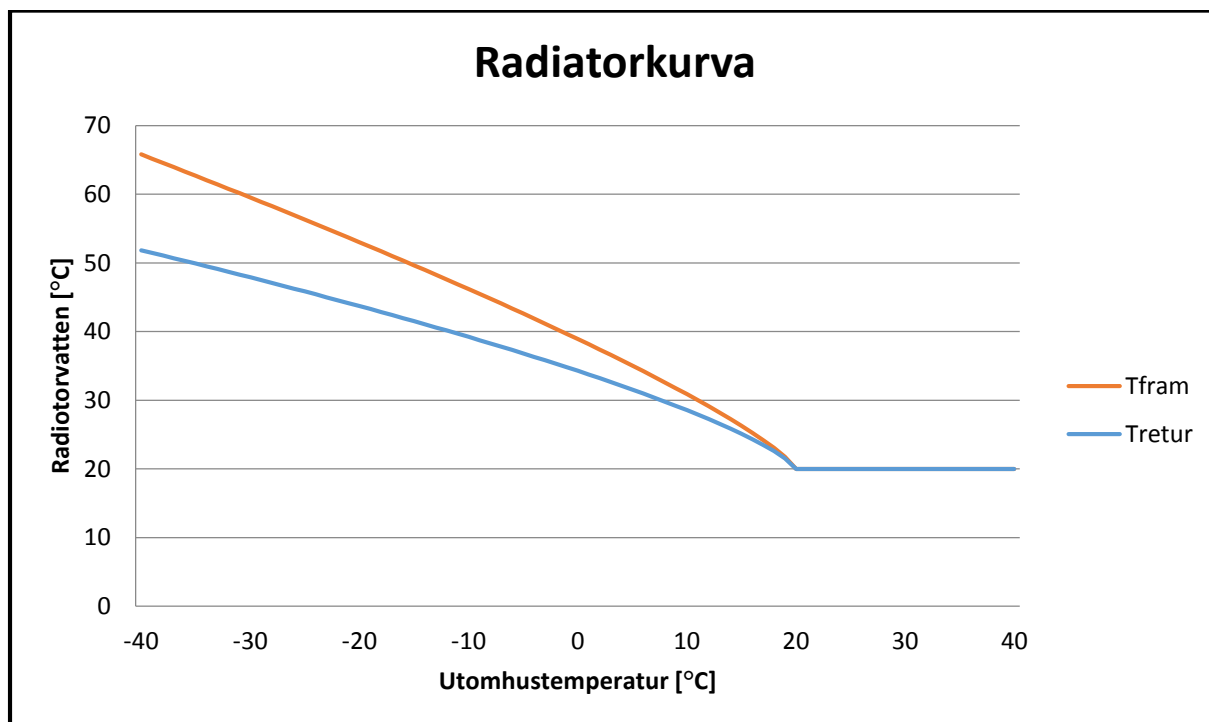
$$b = e^{\frac{T_{inne}-T_{ute}}{a}} \quad (3.7)$$

Framledningstemperaturen och returtemperaturen fås nu fram genom de kända konstanterna och hjälpvariablerna

$$T_{fram} = \frac{b \cdot (T_{inne} - T_{ute}) + K_2 \cdot T_{inne}(b - 1)}{K_2 \cdot (b - 1)} \quad (3.8)$$

$$T_{retur} = \frac{(T_{inne} - T_{ute}) + K_2 \cdot T_{inne} \cdot (b - 1)}{K_2 \cdot (b - 1)} \quad (3.9)$$

Radiatorernas framlednings- och returtemperatur beroende på olika utetemperaturer ges av **Figur 5**. Temperaturen inomhus hålls konstant vid 20 grader Celsius och den dimensionerande utomhustemperaturen är -23 grader (Temperatur, 2014).



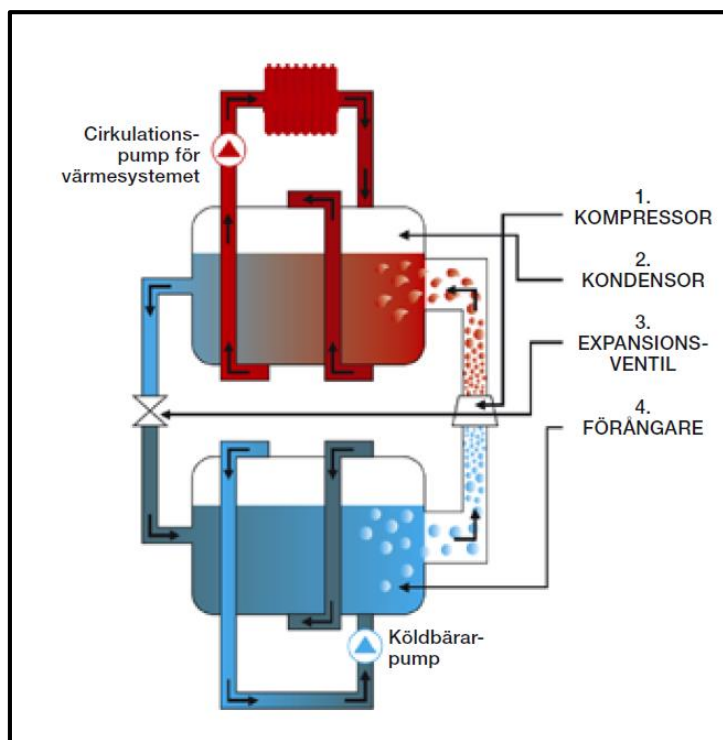
Figur 5, radiatorvattnets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer.

Vid en utomhustemperatur på 20 grader Celsius är både framledning- och returtemperaturen lika stora, vilket innebär att ingen värme behöver tillföras radiatorsystemet.

3.3 Bergvärmepump

Värmepumpar är vanligt förekommande i svenska bostäder. De huvudsakliga tillhörande komponenterna i en värmepump är kompressor, kondensor, förångare och expansionsventil.

Direktverkande el driver kompressorn som komprimerar köldmediet från den kalla till den varma sidan av värmepumpen. Det sker sedan en värmeväxling mellan det komprimerade köldmediet och vattnet som går till radiatorerna. Trycket mellan den varma och kalla delen av värmepumpen regleras även av en expansionsventil ned till värmepumpens kalla del där förångaren finns. Som tillsatseffekt används ofta el för en förhöjd framledningstemperatur till elementen (Energimyndigheten, 2014).



Figur 6, värmepumpens ingående komponenter, hämtad från Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2014).

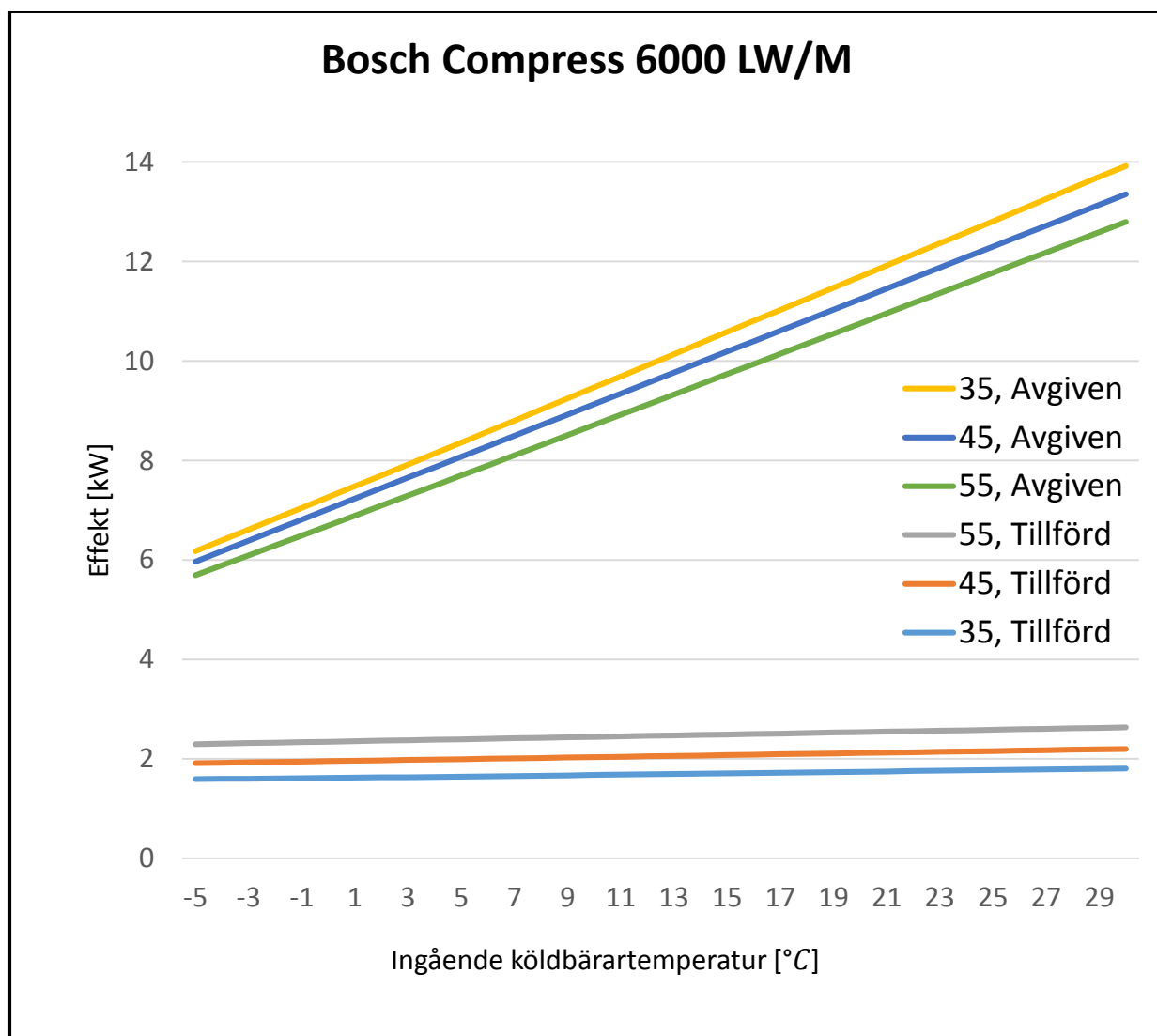
Vid val av värmepump finns flera olika faktorer att ta hänsyn till. Dels ska värmepumpens effekt uppgå till 60-70% av husets maximala effektbehov, vilket är ungefär 95% av husets årliga energibehov. En enkel uppskattning av ett hus maximala effektbehov kan göras genom att ta hänsyn till husets årliga värmebehov och en konstant som beror på husets geografiska plats i Sverige. Konstanten gällande hushåll från mellersta Sverige är 3100 (Energimyndigheten, 2014). Ett medelstort hus årliga värmebehov uppgår enligt energimyndigheten till cirka 24 kWh per år (Energimyndigheten, 2014). Denna uppskattning stämde väl överens med det maximala effektbehov som beräknades i avsnitt 3.1.

Denna uppskattning stämde väl överens med det maximala effektbehov som beräknades i tidigare avsnitt.

En annan viktig del i övervägandet om vilken pump som ska väljas är värmefaktorn (COP). COP visar förhållandet mellan den avgivna och- tillförda energin från värmepumpen. Effektiviteten av värmepumpen ökar generellt ju lägre temperaturdifferenser den arbetar med (Energimyndigheten, 2014).

Vid dimensionering av värmepumpen ansågs Bosch Compress 6000 LW/M (7,6 kW) klara kraven för effektbehovet och det årliga energibehovet. Tillförda- och avgivna effekter vid olika köldbärartemperaturer in i värmepumpen interpolerades och extrapolerades fram från hämtad data (Bosch, 2014).

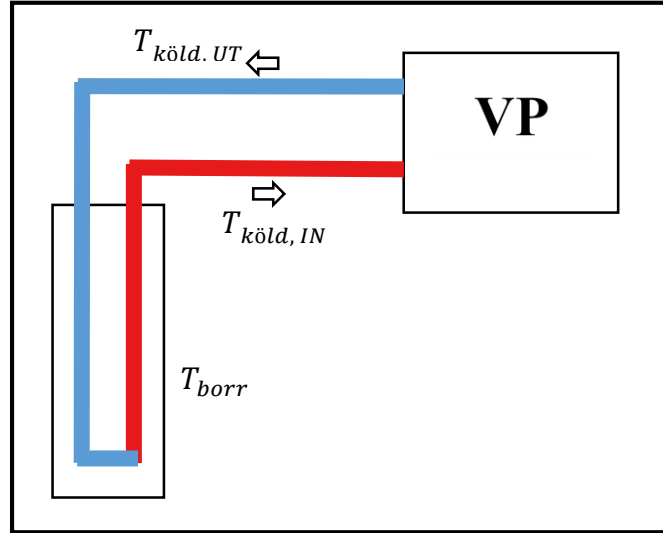
I **Figur 7** ges data för värmepumpens avgivna och tillförda effekt vid olika radiatortemperaturer och köldbärartemperaturer. Då effektbehovet från huset är större än den tillförda effekten från bergvärmepumpen så kan en viss andel el för uppvärmning tillkomma. Om huset däremot inte kräver den effekt som värmepumpen levererar så stängs den av under en kortare tid. Detta togs även i beaktning vid modelleringen så att effekten från värmepumpen inte överskred husets effektbehov.



Figur 7, tillförd och avgiven effekt vid olika radiatortemperaturer beroende på ingående köldbärartemperatur.

3.4 Bergvärme

Effekten från bergvärme ges av värmeväxlingen mellan berget och köldbärarvätskan. Köldbärarvätskan cirkulerar mellan värmepumpen och borrhålet i en kollektorslang vilket kan ses i **Figur 8**.



Figur 8, principiell skiss för värmeöverföring mellan värmepump och borrhål genom kollektorslang.

Mellan kollektorslangen och marken sker en värmeväxling med en effektivitet. Effektiviteten av värmeväxlingen bestäms med hjälp av ϵ -NTU-metoden enligt boken Heat Transfer (Holman, 2010).

Då värmekapacitetsflödet i marken är stor i förhållande till köldbärarens värmekapacitetsflöde kan effektiviteten skrivas på följande sätt (Holman, 2010)

$$\epsilon_{borr} = 1 - e^{-N_{borr}} \quad (3.10)$$

Där konstanten N_{borr} beskrivs som kvoten mellan UA-värdet för borrhålet och köldbärarens värmekapacitetsflöde. Ett lämpligt uppskattat UA-värde för borrhålet hämtades från Jose Acuña (Acuña, 2013)

$$N_{borr} = \frac{(UA)_{borr}}{C_{min}} \quad (3.11)$$

Där C_{min} är köldbärarens värmekapacitetsflöde

$$C_{min} = C_{köld} = (\dot{m} \cdot C_P)_{köld} \quad (3.12)$$

Effektuttaget från borrhålet kan sedan skrivas som

$$P_{borr} = C_{min} \cdot (T_{borr} - T_{köld, UT}) \cdot \epsilon_{borr} \quad (3.13)$$

3.5 Borrhålstemperatur

För att beräkna förändringen av temperaturen i borrhålets användes Yavuzturk och Spitlers modell (Yavuzturk & Spitler, 1999). Modellen behandlar tidssteg över $\frac{5r_b}{\alpha}$ och är anpassad för enskilda, U-formade borrhål.

Enligt Yavuzturk och Spitler ges temperaturen i borrhålet av följande ekvation

$$T_{borrhål} = T_{mark} + \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_{i-1})}{2\pi k} g\left(\frac{(t_n - t_{i-1})}{t_s}, \frac{r_b}{H}\right) \quad (3.14)$$

Temperaturen i borrhålet beror på skillnaden mellan effektuttagen ur hålet ($Q_i - Q_{i-1}$) vid olika tidsintervall samt en g-funktion som avgör impulsernas påverkan. H beskriver djupet av borrhålet och r_b dess radie. $(t_n - t_{i-1})$ är en tidsskillnad mellan sista och föregående tidsintervallet och t_s en tidsskalefaktor.

G-funktionen för ett enskilt borrhål kan numeriskt uppskattas enligt Metka Pesl (METKA PESL, 2000)

$$g\left(E_s, \frac{r_b}{H}\right) = \ln\left(\frac{H}{2r_b}\right) + 0,5 \ln(E_s) \quad (3.15)$$

Där E_s beräknas som

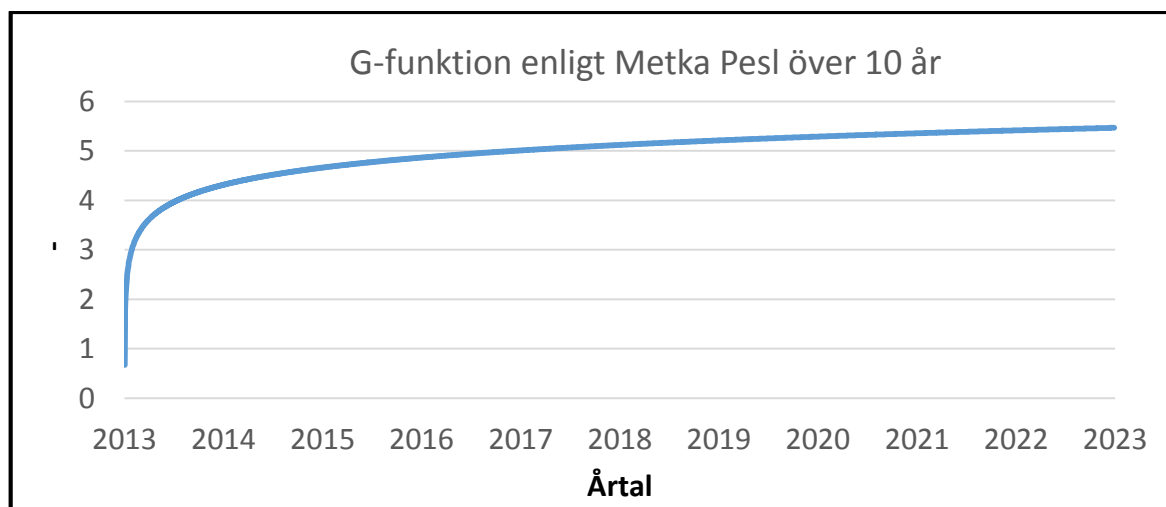
$$E_s = \frac{(t_n - t_{i-1})}{t_s} \quad (3.16)$$

Tidsskalefaktorn t_s beror av följande data

$$t_s = \frac{H^2}{9\alpha_{borr}} \quad (3.17)$$

där α_{borr} är diffusiviteten i berggrunden (Adl-Zarrabi, 2006)

G-funktionen för borrhålet ges av **Figur 9** nedan.



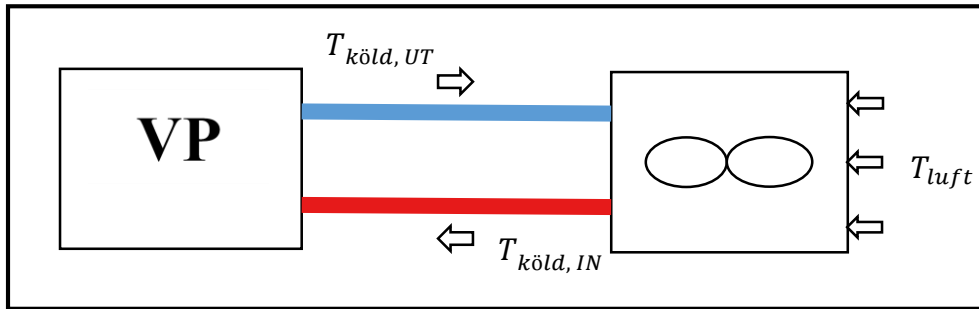
Figur 9, visar hur g-funktionen varierar med tiden.

Vid modelleringens start är temperaturen i borrhålet nedsatt på grund av den tidigare värmepumpen som har gått i 30 år. Den nya värmepumpen som har större effektuttag kommer dessutom att ge större effektpulser och därför påverka temperaturförändringen i borrhålet ytterligare vid fortsatt drift.

3.6 Uteluftkonvektor

Systemet använder en konvektor som komplement till borrhålet. Data för konvektorn hämtades från Bosch och är anpassad efter storleken på den befintliga värmepumpen (Bosch, 2014).

Uteluftkonvektorn överför energi från uteluften till köldbäraren genom påtvingad konvektion av konvektorns fläkt. Från värmepumpen kommer köldbäraren med temperaturen $T_{köld,UT}$ som går in i konvektorn och utbyter värme med utomhusluften och slutligen går in i värmepumpen med temperaturen $T_{köld,IN}$.



Figur 10, värmeväxling av köldbärartemperaturen i uteluftkonvektorn.

För att bestämma effektiviteten av värmeväxlingen i konvektorn användes även här ϵ -NTU-metoden. I konvektorn ansattes korsflöde mellan köldbärare och den påtvingade luften från konvektorn där de båda fluiderna betraktas som separerade.

Effektiviteten av konvektorn uppskattades enligt boken Heat Transfer (Holman, 2010)

$$\epsilon_{konv} = 1 - e^{\left(\frac{e^{(-N_{konv} \cdot C_k \cdot n)} - 1}{C_k \cdot n}\right)} \quad (3.18)$$

Konstanten C_k fås ut som kvoten mellan fluidernas värmekapacitetsflöde

$$C_k = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (3.19)$$

Värmekapacitetsflödet för luft är minst utifrån konvektorns data

$$C_{min} = C_{luft} = (\dot{m} \cdot C_p)_{luft} \quad (3.20)$$

Och värmekapacitetsflödet av köldbäraren är störst

$$C_{max} = C_{köld} = (\dot{m} \cdot C_p)_{köld} \quad (3.21)$$

Konstanten N_{konv} beräknas som kvoten av konvektorns UA-värde och luftens värmekapacitetsflöde. Konvektorns UA-värde hämtades från Joachim Claesson (Claesson). Ekvationen för konstanten N_{konv} kan då beräknas som

$$N_{konv} = \frac{(UA)_{konv}}{C_{min}} \quad (3.22)$$

Från konstanten N_{konv} kan n uppskattas på följande sätt

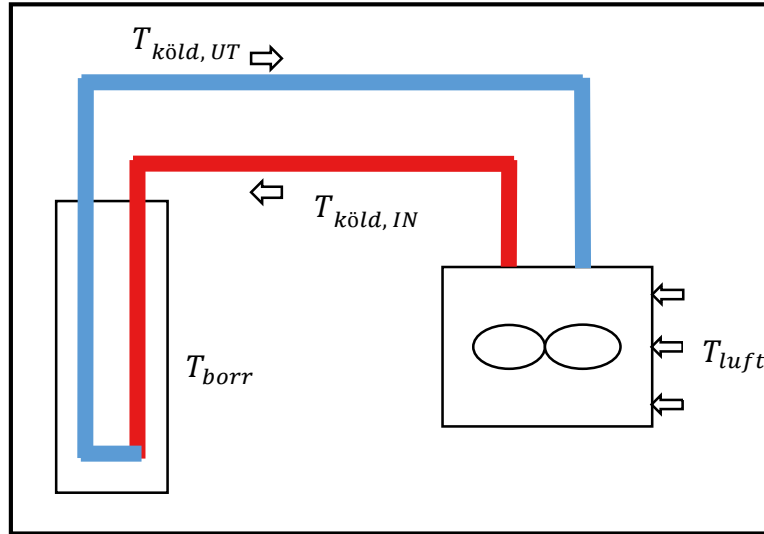
$$n = N_{konv}^{-0,22} \quad (3.23)$$

Konvektorns effekt kan uppskattas med hjälp av effektiviteten enligt ekvationen

$$P_{konv} = C_{min} \cdot (T_{luft} - T_{köld,UT}) \cdot \varepsilon_{konv} \quad (3.24)$$

3.7 Återladdning

Vid höga utomhustemperaturer då husets effektbehov är lågt så arbetar utekonvektorn mot borrhålet. Anledningen är att höja temperaturen i borrhålet för att vid senare tillfälle undvika underkyllning samt öka köldbärarens medeltemperatur.



Figur 11, Återladdning med uteluftkonvektorn.

Energien för värmeväxlingen från konvektorn tillförs borrhålet via köldbäraren. Effekterna vid värmeväxling ges av ekvationerna nedan (Holman, 2010)

$$P_{borr} = C_{borr}(T_{köld,IN} - T_{borr}) \cdot \varepsilon_{borr} \quad (3.25)$$

$$P_{konv} = C_{konv}(T_{ute} - T_{köld,UT}) \cdot \varepsilon_{konv} \quad (3.26)$$

$$P_{köld} = C_{brine}(T_{köld,IN} - T_{köld,UT}) \quad (3.27)$$

Effekterna P_{borr} , P_{konv} och $P_{köld}$ kan antas lika stora om energin bevaras vid värmeöverföring i kretsen. Effekten från återladdningen kan då skrivas som

$$P_{ladd} = P_{borr} = P_{konv} = P_{köld} \quad (3.28)$$

Från dessa ekvationer kan återladdningen P_{ladd} bestämmas analytiskt enligt ekvationen nedan

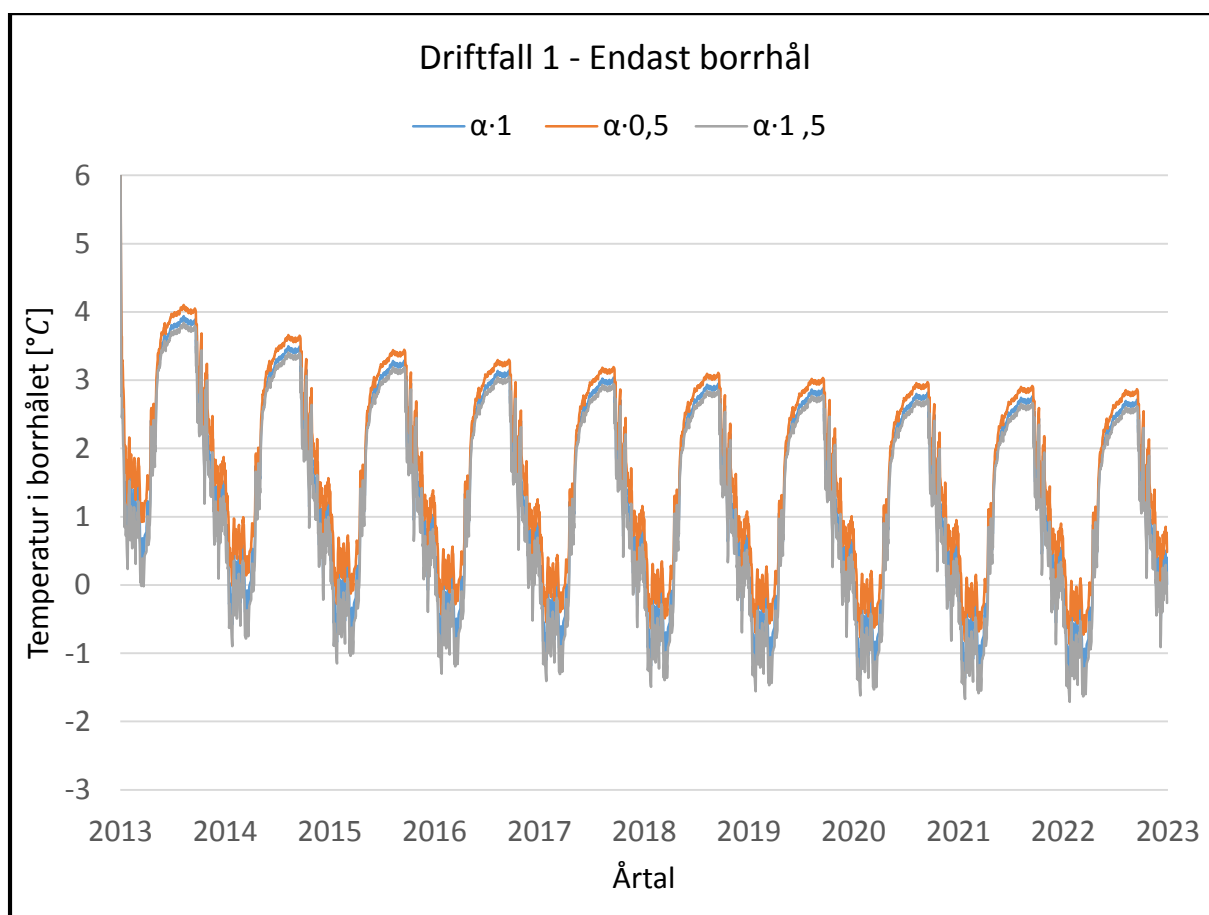
$$P_{ladd} = \frac{(T_{borr} - T_{ute})}{\frac{1}{C_{brine}} - \frac{1}{C_{brine} \cdot \varepsilon_{borr}} - \frac{1}{C_{luft} \cdot \varepsilon_{konv}}} \quad (3.29)$$

Den effekt som tillförs borrhålet vid återladdning ger ett positivt bidrag till effektpulserna enligt **ekvation 3.14** vilket betyder att temperaturen i borrhålet ökar.

4 Resultat från modellering

All modellering är räknad över tio år efter att den nya värmepumpen har installerats och är gjord för tre olika driftfall med varierande diffusivitet i marken. Graferna visar de olika borrhålstemperaturerna med sex timmars intervall under hela den modellerade tiden.

I **Figur 12** då enbart bergvärme drivs går det att avläsa olika temperaturer i hålet från år 2013 och 10 år framåt. De tre olika färgerna står för olika diffusivitet i marken. Diffusiviteten varierar med 50%.



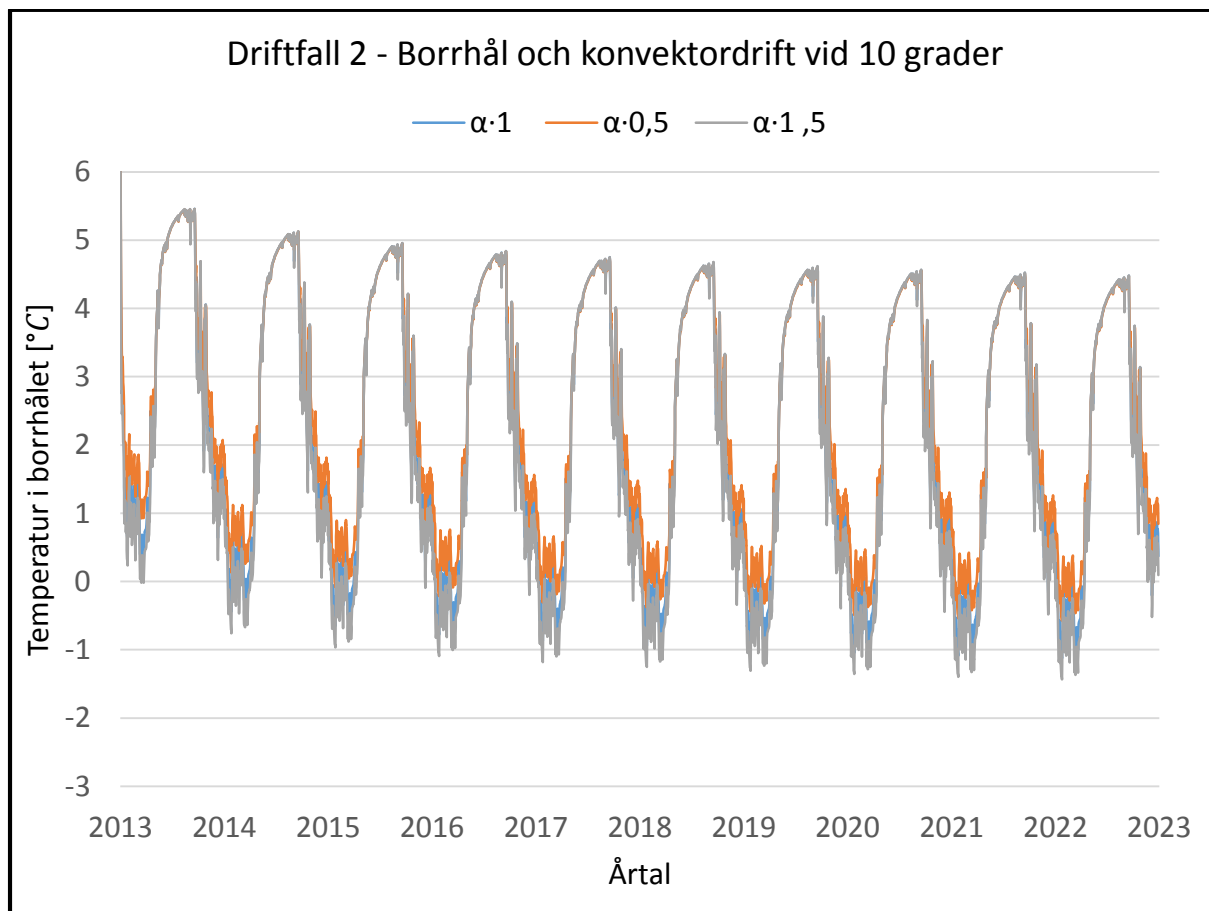
Figur 12, enbart borrhålet används då grafen visar temperaturen i borrhålet under 10 år och de tre olika färgerna representerar olika diffusivitet i marken.

Från grafen fås den varierande temperaturen i borrhålet. Den högsta diffusiviteten ger lägst borrhålstemperatur och årsvärmefaktor vilket kan ses i **Tabell 1**. Temperaturdalarna representerar vinterhalvåret och topparna representerar somrarna.

Tabell 1, driftfall 1, visar den lägsta borrhålstemperaturer som de olika diffusivitet uppnår samt årsvärmefaktorn det första året jämfört med det sista.

	$\alpha \cdot 1$	$\alpha \cdot 0,5$	$\alpha \cdot 1,5$
COP år 2013	4,01	4,04	3,99
COP år 2023	3,87	3,90	3,85
Lägst borrhålstemp.	-1,43 °C	-0,87 °C	-1,76 °C

För det andra driftfallet i **Figur 13** drivs konvektorn över 10 grader Celsius. Liksom i **Figur 12** visar de olika färgerna varierande diffusivitet.



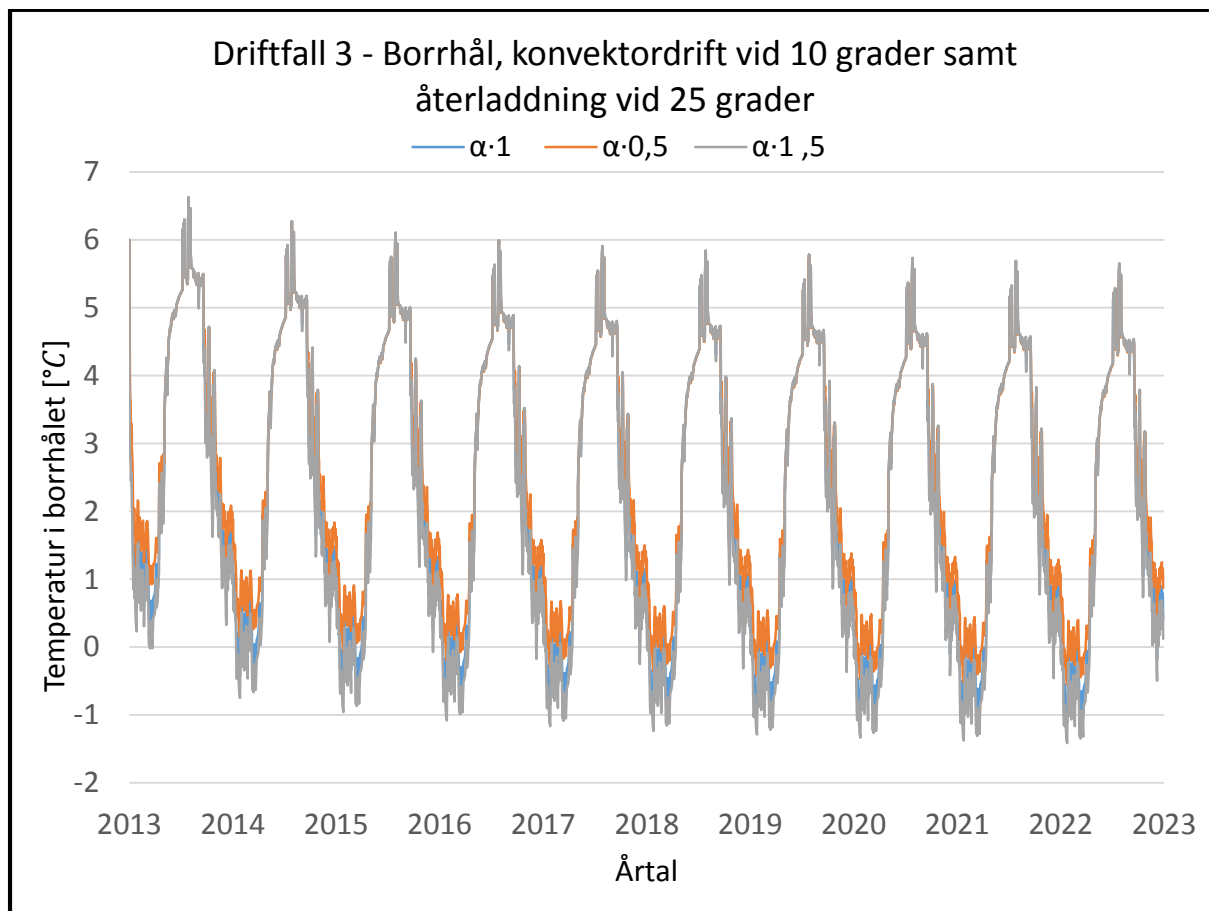
Figur 13, borrhål samt konvektor drift där grafen visar temperaturen i borrhålet under 10 år och de tre olika färgerna representerar olika diffusivitet i marken.

Även här ges den lägsta värmefaktorn och borrhålstemperaturen vid den högsta diffusiviteten. I jämförelse med driften av enbart borrhål kan man se att temperaturen stabiliseras mer vid återhämtning vilket kan ses i **Tabell 2**.

Tabell 2, driftfall 2, visar den lägsta borrhålstemperaturer som de olika diffusivitet uppnår samt årsvärmefaktorn det första året jämfört med det sista.

	$\alpha \cdot 1$	$\alpha \cdot 0,5$	$\alpha \cdot 1,5$
COP år 2013	4,18	4,20	4,17
COP år 2023	4,11	4,13	4,10
Lägsta borrhålstemp	-1,18°C	-0,61°C	-1,52°C

Grafen för borrhålstemperaturen vid återladdning och återhämtning presenteras i **Figur 14**. Konvektorn drivs vid 10 grader Celsius och återladdning vid 25 grader Celsius.



Figur 14, borrhål, konvektor drift samt återladdning där grafen visar temperaturen i borrhålet under 10 år och de tre olika färgerna representerar olika diffusivitet i marken.

Temperaturtopparna i **Figur 14** beror på effektimpulserna från utekonvektorn. Det intressanta med detta driftfall är att den lägsta borrhålstemperaturen stabiliseras efter längre drift vilket kan ses i **Figur 14**. Däremot visar resultatet att driftfall 3 ger en liten minskning av årsvärmefaktorn jämfört med driftfall 2, vilket kan ses i **Tabell 3**.

Tabell 3, driftfall 3, visar den lägsta borrhålstemperaturer som de olika diffusivitet uppnår samt årsvärmefaktorn det första året jämfört med sista.

	$\alpha \cdot 1$	$\alpha \cdot 0,5$	$\alpha \cdot 1,5$
COP år 2013	4,16	4,18	4,15
COP år 2023	4,09	4,11	4,08
Lägsta borrhålstemp	-1,16 °C	-0,59 °C	-1,49 °C

5 Slutsats

Det kan vara av intresse för ett mindre enfamiljshus att använda sig utav ett kombinationssystem av borrhål och utekonvektor vid byte till en mer effektiv värmepump. Med tiden kommer den nya värmepumpen att belasta borrhålet allt mer vilket slutligen kan leda till minskad värmeenergi till huset. Det effektivaste och mest hållbara sättet är att använda konvektorn vid höga utomhustemperaturen för återhämtning och återladdning av borrhålet.

Resultatet av modelleringen har visat att det är möjligt att höja både värmefaktorn och borrhålstemperaturen. Detta kan åstadkommas med hjälp av återladdning och återhämtning vid höga temperaturer under de 10 första åren.

En ökad teknisk livslängd för borrhålet innebär även en långsiktig investering för hushållet. I jämförelse till att enbart använda bergvärme kan kombinationen med utekonvektorn vara en billigare lösning. Samtidigt går det att argumentera för att solpaneler eller andra lösningar går att använda sig av som komplement till bergvärme. Denna modellering visar ingen jämförelse mellan dessa system.

Modelleringen har även utförts för olika diffusivitet i marken för att visa på dess påverkan på borrhålet. Diffusivitet är ett mått på hur bra ett material leder energi relativt dess förmåga att lagra energi. Diffusivitet varierar på olika platser i landet och beror på markens sammansättning.

Det som modelleringen har visat är att temperaturvariationen i borrhålet ökar med högre diffusivitet samt ger en lägre årsvärmefaktor för systemet.

I resultatet visades en stor variation på diffusivitet för att klargöra hur den påverkar värmefaktorn och temperaturen i borrhålet. Vi kan från detta se att borrhålstemperaturen är det som påverkas mest.

5.1 känslighetsanalys

En simpel uppskattning av tappvarmvattenbehovet och gratisvärme för huset antogs. Detta ger mindre fluktuationer i beräkning av husets totala effektbehov. Användning av tidssteg på sex timmar ger även en skillnad mot vad effektbehovet är momentant.

Temperaturdata är endast hämtad från år 2013, vilket kan ge en sämre prognostisk uppskattning av temperaturförändringen och värmefaktorn i borrhålet sett över 10 år. Den kallaste dagen under 2013 i Falun var flera grader Celsius över den dimensionerande utetemperaturen.

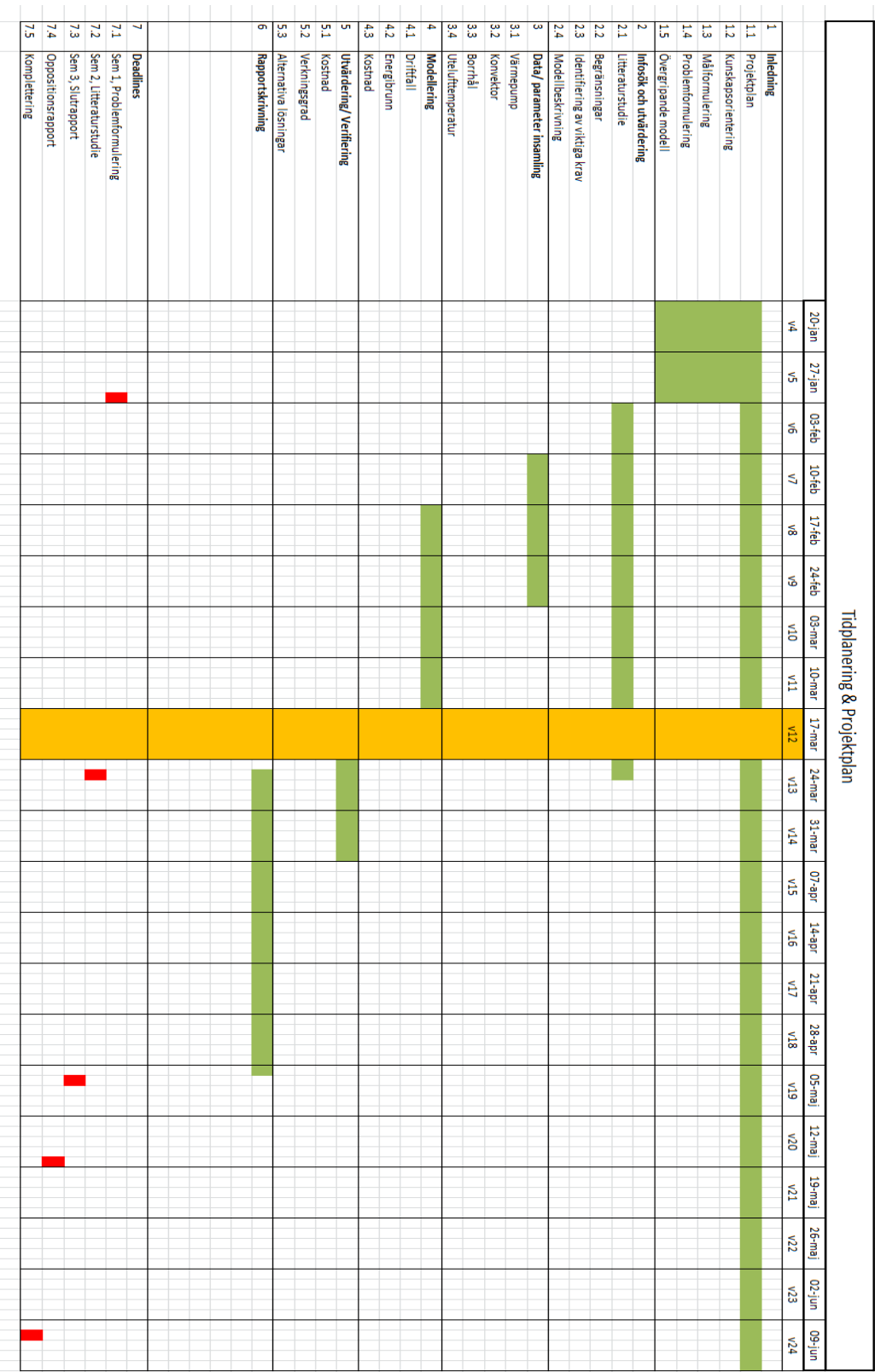
Pump –och fläktarbete har antagits konstanta vid drift vilket inte ger en helt korrekt effektvariation under året. Liksom detta har ingen hänsyn tagits till tryck –och värmeförluster för köldbärarens cirkulation i kretsen, vilket även kan inverka på den tillförda effekten.

Litteraturförteckning

- Acuña, J. (2013). *Local Conduction Heat Transfer in U-pipe Borehole Heat Exchanger*. Stockholm: KTH.
- Adl-Zarrabi, B. (2006). *Thermal conductivity and thermal*. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Bergvärme för den intresserade*. (u.d.). KTH.
- Bosch*. (den 22 April 2014). Hämtat från www.bosch-climate.se
- Claesson, J. (u.d.). *Performance Evaluation of Combined Heat Sources for Innovative Heat Pumps – Ground Source Combined With an Air Coil*.
- Energifakta*. (den 14 April 2014). Hämtat från <http://energifakta.nu/bergvarme/>
- Energimyndigheten*. (2014). Hämtat från www.energimyndigheten.se
- Holman, J. (2010). *Heat Transfer*.
- Jensen, L. (2001). *Värmebehovsberäkning, Kursmaterial Installationsteknik FK*.
- METKA PESL, D. G. (2000). *Response Functions and Thermal Influence for Various Multiple Borehole Configurations in Ground Coupled Heat Pump Systems*.
- Petitjean, R. (2002). *Balancing of radiator systems*. Stockholm.
- Svensk Byggnorm. (1980).
- Temperatur*. (den 30 Januari 2014). Hämtat från www.temperatur.nu
- Yavuzturk, C., & Spitler, J. D. (1999). *A Short Time Step Response Factor Model for Vertical Ground Loop Heat Exchangers*. ASHRAE Transactions.

Bilagor

Bilaga 1 – projektets tidplan



Bilaga 2 – Matlab

Här presenteras alla matlab koder som har använts vid modelleringen. Programmet är uppbyggt av ett huvudprogram och ett antal funktioner som programmet åberopar. Det finns även en funktion där alla konstanter är skrivna.

Kod 1, Huvudprogram

```
%% ----- Modellering-----

% Programmet Hämtar data från den tillhörande excelfilen
% och iteraras för varje tidsintervall valt på 6h.
% Efter programmet är kört önskat antal år exporteras all data
% tillbaka till samma excelfil.

% OBS! Excelfilen måste vara nerstängd när programmet körs! Och värden
% sorterade efter tiden!

%% Parametrar för modelleringen

x=10; %Antal år som modelleringen ska köra

Tgrans_ladd=25; %Gränstemperatur då borrhålet ska återladdas, EJ UNDER 6 GRADER!!!---
Tgrans_konv=10; %Temperaturgräns för då konvektorn ska användas
Tgrans_borr=-30; %Temperaturgräns för då borrhålet inte används

Tborr_start=6; %Temperaturen som är i hålet vid modelleringens start % Borrhålets initialvärde

%% Importera Data från Excel

[Tute,Trad,Q_hus]=dataimport(x);

%% Vektorer, För att underlätta itereringen

tid=6:6:8760*x; %Alla timmar under önskat antal år

% Borrttemp
Tborr=Tborr_start+zeros(1,length(tid));
Q_borr=zeros(1,length(tid));

% Återladdning
Q_ladd=zeros(1,length(tid));
Tbrine_ladd_1=zeros(1,length(tid));
Tbrine_ladd_2=zeros(1,length(tid));
E_ladd=zeros(1,length(tid));

E_ladd_reell=zeros(1,length(tid));

% Konvektor
Q1_konv=zeros(1,length(tid));
Q2_konv=zeros(1,length(tid));
Tbrine_konv_1=zeros(1,length(tid));
Tbrine_konv_2=zeros(1,length(tid));
COP_konv=zeros(1,length(tid));
E_konv=zeros(1,length(tid));

% Borrhål
Q1_borr=zeros(1,length(tid));
```

```

Q2_borr=zeros(1,length(tid));
Tbrine_borr_1=zeros(1,length(tid));
Tbrine_borr_2=zeros(1,length(tid));
COP_borr=zeros(1,length(tid));
E_borr=zeros(1,length(tid));

Q2_borr_reell=zeros(1,length(tid));

% Sammanställning
Q1_vp=zeros(1,length(tid));
Q2_vp=zeros(1,length(tid));
E_vp=zeros(1,length(tid));
COP1_tot=zeros(1,length(tid));

E_tot=zeros(1,length(tid));
Q1_vp_reell=zeros(1,length(tid));
Q2_vp_reell=zeros(1,length(tid));
E_vp_reell=zeros(1,length(tid));

EI_tillsats=zeros(1,length(tid));
vp_aktivitet=ones(1,length(tid));

ladd_aktivitet=zeros(1,length(tid));

%% Här börjar itereringen på alla 6h intervall med gränser för olika driftfall
for n=1:length(tid); % n=varje tidsintervall på 6h

    if Tute(n)>=Tgrans_konv;
        disp('Konvektor')

        [Q1_konv(n),Q2_konv(n),E_konv(n),COP_konv(n),Tbrine_konv_1(n),Tbrine_konv_2(n)]=konvektor(Tu
te(n),Trad(n));

        if Tute(n)>=Tgrans_ladd;
            disp('+ Återladdning')
            [Q_ladd(n), Tbrine_ladd_1(n), Tbrine_ladd_2(n), E_ladd(n)]=aterladdning(Tborr(n),Tute(n));
        end

        elseif Tute(n)>=Tgrans_borr;
            disp('Borrhål')
            [Q1_borr(n),Q2_borr(n),E_borr(n),
            COP_borr(n),Tbrine_borr_1(n),Tbrine_borr_2(n)]=borrhal(Tborr(n),Trad(n));

            if Tute(n)>=Tgrans_ladd;
                disp('+ Återladdning')
                [Q_ladd(n), Tbrine_ladd_1(n), Tbrine_ladd_2(n), E_ladd(n)]=aterladdning(Tborr(n),Tute(n));
            end

        end

    % Sammanställning
    Q1_vp(n)=Q1_konv(n)+Q1_borr(n);
    Q2_vp(n)=Q2_konv(n)+Q2_borr(n);
    E_vp(n)=E_konv(n)+E_borr(n);

    % Aktivitet hos VP och Återladdning

```

```

if Q1_vp(n)>Q_hus(n) && Tgrans_ladd>=Tute(n) % Andel tid aktiv vp utan laddning

    vp_aktivitet(n)=Q_hus(n)/Q1_vp(n);

elseif Q1_vp(n)>Q_hus(n) && Tgrans_ladd<Tute(n) % Andel tid aktiv vp med laddning

    vp_aktivitet(n)=Q_hus(n)/Q1_vp(n);
    ladd_aktivitet(n)=1-vp_aktivitet(n);

end

% Energi som ska tas/ges ur hålet
Q2_borr_reell(n)=Q2_borr(n)*vp_aktivitet(n)+Q_ladd(n)*ladd_aktivitet(n);

% Den Faktiska Energin som fås av VP, eftersom vi inte kör den 6/6 timmar
Q1_vp_reell(n)=Q1_vp(n)*vp_aktivitet(n);
Q2_vp_reell(n)=Q2_vp(n)*vp_aktivitet(n);
E_vp_reell(n)=E_vp(n)*vp_aktivitet(n);

E_ladd_reell(n)=E_ladd(n)*ladd_aktivitet(n);

if Q1_vp(n)<Q_hus(n) % Eltillsats --> vp_aktivitet=1

    El_tillsats(n)=Q_hus(n)-Q1_vp(n);

end

% All reell urtagen energi dividerat med all reell tillförd
E_tot(n)=E_vp_reell(n)+E_ladd_reell(n)+El_tillsats(n);
COP1_tot(n)=(Q1_vp_reell(n)+El_tillsats(n))/(E_tot(n));

% Borrhåldtemperatur
%Q_borr(n)=(Q2_borr(n)+Q_ladd(n))/H;
Tborr(n+1)=borrtemp(Q2_borr_reell(1:n),Tborr_start);

end

%% Plot och redovisning

% Borrhåll
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(tid,Q2_borr_reell,'*') % Visar Q2 från borrhålet
title('Effekt från borrhålet')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('Effekt i watt')

subplot(2,1,2)
plot(tid,Tbrine_borr_1) % Visar Tbrine från VP
hold on
plot(tid,Tbrine_borr_2,'r') % visar brine till VP
hold on
title('Tbrine Borrhåll')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('Temperatur i grader celcius')
legend('T_{Brine,UT}','T_{Brine,IN}')

figure(2)

```

```

plot(tid,Tborr(1:end-1))
title('Temperatur i borrhålet ')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('Temperatur i celcius')

```

% Sammanställning

```

figure(4)
subplot(3,1,1)
plot(tid,vp_aktivitet)
title('Värmepumpsaktivitet')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('% under 6h intervall')

```

```

subplot(3,1,2)
plot(tid,ladd_aktivitet)
title('Laddaktivitet')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('% under 6h intervall')

```

```

subplot(3,1,3)
plot(tid,El_tillsats)
title('El_tillsats')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('% under 6h intervall')

```

```

figure(5)
subplot(2,1,1)
plot(tid,Q1_vp_reell)
hold on
plot(tid,Q_hus,'r')
title('Effekt från VP och effektbehov')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('Effekt i watt')
legend('Qvp','Qhus')

```

```

subplot(2,1,2)
plot(tid,Tute,'b')
title('Utomhus temperatur')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('Effekt i watt')

```

```

figure(7)
plot(tid,COP1_tot,'g')
title('Värmefaktor för hela systemet')
xlabel('Tid i timmar')
ylabel('-')

```

%% Lite värden

```

disp(' ')
disp('Antal modellerade år:')
disp(num2str(x))
disp(' ')
disp('Gränstemperatur för Återladdning:')
disp(num2str(Tgrans_ladd))
disp(' ')
disp('Gränstemperatur för Konvektor:')
disp(num2str(Tgrans_konv))
disp(' ')

```



```

disp('Lägst borrhåls temp och sista:')
disp([num2str(min(Tborr)) ' ' num2str(Tborr(end))])
disp(' ')
disp('Årsvärmefaktor medel Första/ Sista:')
disp([num2str(mean(COP1_tot(1:1460))) ' ' num2str(mean(COP1_tot(end-1459:end)))]])
disp(' ')
disp('Summa Effekt återladdning [Pump+Flakt]:')
disp(num2str(sum(E_ladd)))
disp(' ')
disp('Summa Effekt återladdning (till hålet):')
disp(num2str(sum(Q_ladd)))
disp(' ')
disp('Driftkostnad, antal tillförda kWh:')
disp(num2str(sum(E_tot*6/1000)))
disp(' ')

```

%% Exportera all data till Excel

% Borrhålstemperatur

```

% Enbart borrhål
% range='D2' % a*1
%range='E2' % a*0,5
% range='F2' % a*1,5

```

```

% Borrhål och konvektor
% range='G2' % a*1
% range='H2' % a*0,5
% range='I2' % a*1,5

```

```

% Borrhål, konvektor och återladdning
% range='J2' % a*1
% range='K2' % a*0,5
range='L2' % a*1,5

```

```

status=xlswrite('borrhalttempny.xlsx',[mean(COP1_tot(1:1460));mean(COP1_tot(end-1459:end));min(Tborr);0;Tborr(1:end-1)],1,range)

```

Kod 2, Funktion för konvektor drift

```

function[Q1_konv,Q2_konv,E_konv,COP_konv,Tbrine_konv_1,Tbrine_konv_2]=konvektor(Tute_1,Tra
d_fram)
%% ----- Konvektor-----
konstanter();
global C_brine C_luft e_konv E_flakt E_pump

%% Uträkning av Q_konv, Tbrine_konv_1 och Tbrine_konv_2, Vid Drift med Konvektor

Tbrine_konv_2=-30; % Start värde på brine
Q_konv_analytisk=0;
Q2_konv=10000;
while abs(Q_konv_analytisk-Q2_konv)>=1000; % Testar olika Tbrine tills villkor uppfylls mellan analys
och spec.

    Tbrine_konv_2=Tbrine_konv_2+0.001;

    % Analytiskt uträknad med effektivitet NTU
    Q_konv_analytisk=(Tute_1-Tbrine_konv_2)/(1/(C_luft*e_konv)-1/C_brine);

```

```

    % Uträknad från fit surface från pumpens spec
    Q1_konv=1000*(7.441 + 0.2535*Tbrine_konv_2 + 0.009323*Trad_fram +
    0.0003633*Tbrine_konv_2^2 + -0.001003*Tbrine_konv_2*Trad_fram + -0.0004167*Trad_fram^2);
    E_konv_vp=1000*(0.8805 -0.0003233*Tbrine_konv_2 + 0.01138*Trad_fram + 3e-
    5*Tbrine_konv_2^2 + 0.0001687*Tbrine_konv_2*Trad_fram + 0.0002772*Trad_fram^2);

    Q2_konv=Q1_konv-(E_konv_vp-E_pump);

end

Tbrine_konv_1=Tute_1-Q2_konv/(C_luft*e_konv);

E_konv=E_konv_vp+E_flakt;

COP_konv=Q1_konv/(E_konv);

end

```

Kod 3, Funktion för borrhåls drift

```

function[Q1_borr,Q2_borr,E_borr_vp,COP_borr,Tbrine_borr_1,Tbrine_borr_2]=borrhal(Tborr,Trad_fram)
%% ----- borrhål-----
konstanter();
global C_brine e_borr E_pump

%% Uträkning av Q_konv, Tbrine_konv_1 och Tbrine_konv_2, Vid Drift med borrhål

Tbrine_borr_2=-10;
Q_borr=0;
Q2_borr=10000;
while abs(Q_borr-Q2_borr)>=300 || Tbrine_borr_2==100; % gräns för iterering watt

    Tbrine_borr_2=Tbrine_borr_2+0.01; % Steglängd för brine temperatur

    % Analytiskt uträknad med effektivitet NTU
    Q_borr=(Tborr-Tbrine_borr_2)/(1/(C_brine*e_borr)-1/C_brine);

    % Uträknad från fit surface från pumpens spec
    Q1_borr=1000*(7.441 + 0.2535*Tbrine_borr_2 + 0.009323*Trad_fram +
    0.0003633*Tbrine_borr_2^2 + -0.001003*Tbrine_borr_2*Trad_fram + -0.0004167*Trad_fram^2);
    E_borr_vp=1000*(0.8805 -0.0003233*Tbrine_borr_2 + 0.01138*Trad_fram + 3e-5*Tbrine_borr_2^2
    + 0.0001687*Tbrine_borr_2*Trad_fram + 0.0002772*Trad_fram^2);

    Q2_borr=Q1_borr-(E_borr_vp-E_pump);

end

Tbrine_borr_1=Tbrine_borr_2-Q2_borr/(C_brine);

COP_borr=Q1_borr/E_borr_vp;

end

```

Kod 4, Funktion för återladdning

```
function [Q_ladd, Tbrine_ladd_1, Tbrine_ladd_2, E_ladd] = aterladdning(Tborr, Tute)
%% ----- Återladdning -----
konstanter();
global C_brine e_borr C_luft e_konv E_flakt E_pump

%% Uträkning av Q, Tbrine_1 och Tbrine_2, Vid Återladdning

% Systemet är i jämvikt och Q_konv=Q_borr=Q_köldbärare

% Från ekvationer enligt NTU sid. 540

Q_ladd = -(Tborr - Tute) / (1/C_brine - 1/(C_brine*e_borr) - 1/(C_luft*e_konv)); % - tecknet visar att vi trycker
ner energi i hålet

Tbrine_ladd_1 = Q_ladd / (C_brine*e_borr) + Tborr;

Tbrine_ladd_2 = Tute - Q_ladd / (C_luft*e_konv);

E_ladd = E_flakt + E_pump;
end
```

Kod 5, Funktion för borrhålstemperatur

```
function [Tborr_n] = borrhtemp(Q_borr, Tborr_start)
%% Modell för borrhålstemperaturen

konstanter();
global k H

Q_borr = Q_borr/H; % gör om till W/m

%% T-borehole

% De nya värdena
Q = Q_borr;
n = length(Q);

Q_delta = (Q - [0 Q(1:end-1)]);

t = 6:6:6*length(Q_delta);

g = fliplr(gfunk(t));

%% T-borehole

Tborr_n = Tborr_start - sum(Q_delta(1:n) / (2*pi*k) .* g(end-n+1:end)); % G-funk(antal timmar pulsen for
iväg.)

End
```

Kod 6, Funktion för g-funktionen

```
function g=gfunk(t)

konstanter()
global H a rb

%% g-funktionen, kommer från Metzel

ts=H^2/(9*a);

g=log(H/(2*rb))+0.5*log(t*3600/ts);

end
```

Kod 7, Funktion för alla konstanter

```
function konstanter()

global rb k a H E_pump E_flakt rho_luft rho_koldbarare Cp_luft Cp_koldbarare ms_luft ms_koldbarare
UA_konv UA_borr C_luft C_brine N_konv C_konv n_konv e_konv N_borr e_borr

%% Givna parametrar och konstanter

%% Konvektor

E_flakt = 176; % [W] Fläktarbetet
E_pump = 70; % [W] Pumparbete

%% Borrhål

H=100; %borrhålets djup i meter
a=1.5*1.97*10^(-7); %borrhålets diffusivitet, --Ska varieras vid Fördjupning!!!!
k=3; %markens termiska konduktivitet., verkar stämma enligt Anders
rb=5/100; % borrhålets radie i meter

Rb=(0.118+0.260)/2; %[mK/W] Resistansen mellan marken och köldmediet. Taget från José

UA_borr=1/Rb*H; % W/K

% konvektor

UA_konv=750; % W/m^2*K

%% termo

rho_luft=1.2;
rho_koldbarare=966; % 16% etanol och 84% vatten.

Cp_luft=1005; % J/(kg*K)
Cp_koldbarare=3529; % J/(kg*K)

ms_luft=2200/3600*rho_luft; % massflöde för luft. Kommer från känt volymflöde av fläkten från Bosh
ms_koldbarare=0.38/1000*rho_koldbarare; % massflöde för köldbärare, känd pumpvolym, från spec.
```

%% NTU - Metoden - effektivitet hos konvektor och borrhål.

```
C_luft=ms_luft*Cp_luft;
C_brine=ms_koldbarare*Cp_koldbarare;

N_konv=UA_konv/C_luft;

C_konv=C_luft/C_brine;

n_konv=N_konv^(-0.22);

e_konv=1-exp((exp(-N_konv*C_konv*n_konv)-1)/(C_konv*N_konv)); % Effektiviteten för konvektorn

N_borr=UA_borr/C_brine; % För borrhålet är C_brine=C_min då marken har hög "Cp"

e_borr=1-exp(-N_borr);
end
```

Kod 8, Funktion för alla konstanter

```
function [Tute1,Trad1,Q_hus1]=dataimport(x)

Tute = xlsread('modellering.xlsx','Resultat','E12:E8772');
Q_hus = xlsread('modellering.xlsx','Resultat','J12:J8772')*1000;
Trad = xlsread('modellering.xlsx','Resultat','L12:L8772');

% x antal år

Tute1=[];
Trad1=[];
Q_hus1=[];

for n=1:x

    Tute1=[Tute1;Tute];
    Trad1=[Trad1;Trad];
    Q_hus1=[Q_hus1;Q_hus];

end

end
```