

Förstudie

Optimering vid byte av bergvärmepumpar i befintliga borrhål

Utarbetad av

Sara Borgström, Margot Bratt, Kristina Landfors,
Hessam Tabrizi och Katarina Westerbjörk WSP

Granskad av

Charlotta Winkler, WSP

Göteborg och Stockholm, december 2019

INNEHÅLL

ORDLISTA	5
SAMMANFATTNING	7
1 INLEDNING	9
1.1 OM BESMÅ	9
1.2 BAKGRUND	9
1.3 SYFTE	10
1.4 GENOMFÖRANDE OCH OMFATTNING	10
1.4.1 Kartläggning	10
1.4.2 Simulering	10
1.4.3 Intervjuer	10
1.4.4 Workshop	10
2 KARTLÄGGNING AV NULÄGE	11
2.1 ELANVÄNDNING I SMÅHUS, NULÄGE	11
2.1.1 Uppvärmning av småhus idag	11
2.2 OM BERGVÄRME	12
2.3 VARFÖR ÄR DET INTRESSANT ATT SE ÖVER EFFEKTIVITETEN FÖR SYSTEM VID ÄLDRE BORRHÅL FÖR BERGVÄRMEPUMPAR?	12
2.3.1 Styrning av värmepumpar minskar toppeffektbehovet	12
2.3.2 Ändrade tariffer för effektivt utnyttjande av elsystemet	13
2.3.3 Omfattning för försäljning av bergvärmepumpar i svenska småhus	13
2.3.4 Utmaningar vid utbyte av bergvärmepump	14
2.3.5 Marknad för varvtalsreglerade värmepumpar, frikyla, solenergi samt styrning	15
2.4 GENOMFÖRDA UTREDNINGAR	15
2.4.1 Värmepumpars påverkan på effektbalansen – Idag och i framtiden	15
2.4.2 Solvärme i bostäder med analys av kombinationen solfångare och bergvärmepump	16
2.4.3 Bergvärme kombinerat med uteluftkonvektor	17
2.4.4 Solhybrid och bergvärme	17
2.4.5 Sammanfattning av genomförda utredningar	18
2.5 EXEMPEL PÅ TILLGÄNGLIGA PRODUKTER	19
2.5.1 BorrhålsBooster	19
2.5.2 Bergvärmepump för utbyte, Thermia	19
2.5.3 Bergvärmepump med adaptiv borrhålskontroll, Mitsubishi	20
2.5.4 Hybrid Solar System, Free Energy	20
2.5.5 Solhybrid Samster AB	20
3 SIMULERING AV OLIKA SYSTEM	21
3.1 BEFINTLIG BERGVÄRMEPUMP	21
3.2 UTBYTE TILL MER EFFEKTIV BERGVÄRMEPUMP	22

3.3	UTBYTE TILL MER EFFEKTIV BERGVÄRMEPUMP MED STYRNING PÅ KÖLDBÄRARTEMPERATUR	23
3.4	UTBYTE TILL MER EFFEKTIV BERGVÄRMEPUMP MED HÖGRE EFFEKTÄCKNINGSGRAD	25
3.5	UTBYTE TILL MER EFFEKTIV BERGVÄRMEPUMP MED HÖGRE EFFEKTÄCKNINGSGRAD OCH MED SOLFÅNGARE SOM KOMPLEMENT.	26
3.6	JÄMFÖRELSE AV ALTERNATIV	28
4	INTERVJUER	30
4.1	MITSUBISHI ELECTRIC, ANDERS NILSSON	30
4.2	NIBE, ANDREAS JOHNSON	30
4.3	BOSCH, MARKUS SUNDBRANDT	31
4.4	THERMIA, LARS FINNE	31
4.5	FREE ENERGY, MARCUS KANEWOFF	32
5	WORKSHOP OM BEHOV AV FORTSATT ARBETE	33
5.1	PÅFRYSNING	33
5.2	STYRNING	33
5.3	KOMMUNIKATION	34
5.4	ANSVAR OCH JURIDIK	34
6	IDENTIFIERADE BEHOV	35
6.1	JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA LÖSNINGAR	35
6.2	INCITAMENT SLUTKUNDER	35
6.3	KUNSKAP KRING PÅFRYSNING	35
6.4	UTVECKLAD STYRNING	35
7	ANALYS	37
7.1	PÅFRYSNING AV BORRHÅL	37
7.2	VÄRMEPUMPAR STYRDA PÅ KÖLDBÄRARTEMPERATUREN	37
7.3	EFFEKTBEHOV	37
7.4	ÅTERLADDNING AV BORRHÅL OCH FÖRVÄRMNING AV KÖLDBÄRARTEMPERATUR	38
7.4.1	Komplettering med solvärme	38
8	SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	39
8.1	SLUTSATSER	39
8.2	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	40
8.2.1	Kartläggning av borrhål.	40
8.2.2	Jämförelse mellan olika lösningar	40
8.2.3	Utreda ansvarsfördelning och garantier vid samarbete mellan värmepumpsleverantörer och andra teknikleverantörer	40
8.2.4	Lyfta incitament som leder till ökat samarbete mellan värmepumpsleverantörer och andra teknikleverantörer	40
8.2.5	Utvecklad styrning	41
9	LITTERATURFÖRTECKNING	42
10	BILAGOR	44

10.1 BILAGA 1 – DELTAGARE WORKSHOP	44
10.2 BILAGA 2 – TYPHUS FÖR SIMULERING	45

Ordlista

Akkumulatortank används för att lagra varmvatten från exempelvis värmepumpen. En del ackumulatortankar har dubbla mantlar (två tankar i en) och då används yttermanteln för värmesystemet och innermanteln för varmvatten

Balanstemperatur är den utomhustemperatur då byggnaden måste tillföras värme för att kunna hålla önskad inomhustemperatur

Beräknad framledningstemperatur - Den temperatur som värmepumpen räknar ut att värmesystemet behöver för att det ska bli lagom varmt i bostaden. Ju kallare det är ute, desto högre beräknad framledningstemperatur

Blandningsventil blandar kallt vatten med varmvattnet från beredaren.

Brine – Se *Köldbärarvätska*.

Cirkulationspump Pump som cirkulerar vätska i ett rörsystem

COP - står för Coefficient of Performance och är ett mått på värmepumpens prestanda. På svenska kallas det ofta värmefaktor eller verkningsgrad. COP-värdet är förhållandet mellan köpt eleffekt/elenergi och i kondensorn avgiven värmeeffekt/värmeenergi. Ett COP-värde på 5,2 innebär alltså att värmepumpen ger 5,2 gånger så mycket energi som den förbrukar

DUT – står för dimensionerad utetemperatur - Den dygnsmedeltemperatur för orten, som underskrids högst 30 gånger på 30 år) och är den lägsta utetemperatur för vilken värmesystemet skall dimensioneras.

Etanol – Sprit som framställs ur biobränslen. Kan användas som frysskydd i kollektorslangen till mark/bergvärmepump

Frekvensstyrning – Steglös inställning av varvtal för tex pumpar och kompressor

Frikyla – Den kalla köldbärarvätskan från kollektor/borrhål används för att kyla bostaden

Förångare – Värmeväxlare där köldmedievätskan förångas genom att fånga in värmeenergi från köldbärarvätskan

Förrådsberedare är en typ av varmvattenberedare där en viss mängd vatten ständigt är uppvärmd.

Geotermisk gradient - temperaturförändring per djupenhet

Högtryckspressostat - Tryckvakt som ger larm om kondenseringstrycket är för högt. Den sitter på den varma sidan, dvs mot värmesystemet

Inverterstyrning - Stegvis styrning av varvtal för exempelvis pumpar och kompressor

Kollektor – Slang där köldbäraren cirkulerar i ett slutet system mellan värmekällan och värmepumpen

Kompressor – Komprimerar det gasformiga köldmediet, vilket leder ökat tryck och temperaturökning

Kondensor – Värmeväxlare där det heta gasformiga köldmediet kondenserar genom att gasen kyls ner till vätska. Värmeenergin avges då till husets varmvatten – och värmesystem

Köldbärarsida – Köldbärarslangar, ev. borrhål samt förångare

Köldbärarvätska – Frostskyddad vätska, tex etanol eller glykol blandat med vatten, som transporterar värmeenergi från berget/marken/sjön till värmepumpen. Även kallad Brine.

Köldbärarfluid – Köldbärarvätska

Laminärt flöde – strömningen följer parallella linjer utan att blandas (motsats till turbulent strömning)

Lågtryckspressostat - Tryckvakt som löser ut om förångningstrycket är för lågt. Lågtryckspressostaten är på kalla sidan i köldbärarkretsen mot borrhålet/markslingan vid jord-/bergvärme eller utomhusmodulen vid luft/vatten

Rb - borrhålsmotstånd. Ska vara så lågt som möjligt

Relaxation - är en term inom optimeringslära som betyder att man lättar på eller helt tar bort vissa av villkoren som finns på ett optimeringsproblem. Det kan exempelvis innebära att värmepumpen styrs på temperaturen i borrhålet för att minska risken för påfrysning och spetsvärme går in för att kompensera.

SCOP - står för Seasonal Coefficient of Performance och är ett mått på värmepumpens prestanda under ett år. På svenska säger man också årsvärmefaktor eller årsverkningsgrad. Rent praktiskt innebär det att man mäter COP-värdet vid olika utomhustemperaturer och räknar samman detta till ett genomsnittligt årsvärde.

Sammanfattning

I dagens småhusbestånd har ca 25 % en bergvärmepump installerad. Livslängden på en värmepump är ca 15 år till 20 år, medan borrhålen går att återanvända om en ny bergvärmepump installeras. Moderna bergvärmepumpar är oftast betydligt mer effektiva, dvs de kan ta ut mer värme ur borrhålen, men då ökar risken att temperaturen i borrhålet sjunker för att till slut vara så låg att borrhålet inte längre kan utnyttjas. För att undvika detta finns ofta en reglering som begränsar uttaget, dvs värmepumpen används inte fullt utan huset värms istället med elspets. I Sverige har vi idag ett överskott på elenergi, men kapacitetsbrist (effekt) under delar av året och i delar av nätet. Det medför att det finns ett ökat intresse för att undvika effektuttag under kritiska tidpunkter för elnätet.

Syftet med förstudien är både att undersöka hur stort problemet är med underdimensionerade borrhål vid utbyte av bergvärmepump i småhus liksom att identifiera möjliga lösningar för att uppnå en hög täckning av husets värmebehov med befintligt borrhål och med ett litet behov av spetsel.

Förstudien inleddes med en kartläggning av kunskapsläget avseende småhusens möjligheter att använda befintliga borrhål optimalt tillsammans med en modern bergvärmepump, genom litteraturgenomgång och marknadskartläggning. Därefter genomfördes simuleringar för att få en uppfattning av konsekvenserna för hur energiflödena påverkas av olika alternativ vid utbyte av bergvärmepump. Intervjuer har genomförts med 5 värmepumpstillverkare och en workshop har genomförts med aktörer inom branschen för att föra en dialog om hur marknaden för utbyte av bergvärmepumpar ser ut, vilka utmaningar som finns med underdimensionerade borrhål samt vilket utvecklingsbehov som aktörerna ser.

I flera genomförda utredningar och i simuleringarna från denna förstudie, framkommer tydligt att temperaturen i borrhålen och på köldbärartemperaturen sjunker avsevärt i samband med att en befintlig bergvärmepump byts ut till en mer effektiv variant som tar ut mer energi ur borrhålet. Detta ökar risken för påfrysning i borrhålet och att borrhålet slutar att fungera. Dock behöver problematiken och utmaningarna kring påfrysning i borrhål utredas ytterligare. Det är inte tydligt definierat vad som menas med påfrysning i ett borrhål, vid vilka temperaturer eller situationer påfrysning faktiskt blir ett problem eller hur utbrett problematiken är.

Från enkätstudien PULSEN 2018 framgår att SKVP:s medlemmar rekommenderar att borra en kompletterande eller en ny energibrunn vid ungefär hälften av fallen när en bergvärmepump byts ut. I ungefär en fjärdedel av fallen anpassas värmepumpen efter borrhålet, oftast med motiveringen att kunden inte vill bekosta att tilläggsborra och att de är nöjda med sin energianvändning. En vanlig lösning är att styra värmepumpen på köldbärartemperaturen. Värmepumpen anpassar effektuttaget ur borrhålet om köldbärartemperaturen blir för låg, för att minska risken för överuttag av värme ur borrhålet. Med denna styrning utnyttjas befintligt borrhål till max utan att riskera påfrysning. Vid behov kompletteras uppvärmningen av en elpatron. Denna lösning har enligt erfarenhet från värmepumpsleverantörer fungerat bra för att undvika påfrysning av borrhål. Däremot leder den till ett ökat behov av spetsel, ofta i samband med de kallaste dagarna och effekttoppar på elnätet.

Det finns olika alternativ för att effektivisera utnyttjandet av ett befintligt borrhål genom att återladda borrhålet och/eller förvärma köldbäraren. Ett par värmepumpsleverantörer har en tilläggsprodukt i form av en frånluftsmodul som kompletterar bergvärmepumpen. Ett annat alternativ som erbjuds av vissa värmepumpsleverantörer är ett passivt kylsystem som kan återladda borrhålet med frikyla. En tredje lösning som finns tillgänglig på marknaden är att komplettera bergvärmepumpen med en solvärmeanläggning.

Lösningar för att förvärma köldbärartemperaturen och/eller återladda borrhålet har inte fått stort genomslag på marknaden än. Från intervjuerna och workshopen framkommer det också flera värmepumpsleverantörer upplever en viss osäkerhet om hur effektiva och ekonomiskt lönsamma dessa lösningar är jämfört med att tilläggsborra eller styra på köldbärartemperaturen.

besmå

*Innovationskluster för
energieffektiva småhus*



Det finns ett behov av att öka kunskapen om vilken lösning som är bäst lämpad och mest ekonomisk för en specifik situation, både hos värmepumpstillverkare, -återförsäljare och hos slutkonsumenter. Många slutkunder är idag nöjda med att få en ny värmepump som är lika bra som den förra, utan att känna till att det kan finnas andra alternativ som kan vara mer lönsamma på lång sikt. Även flera värmepumpstillverkare uttrycker ett behov av att ta fram bättre jämförelser mellan olika lösningar, för att bättre kunna hjälpa sina kunder välja rätt lösning.

1 Inledning

1.1 Om BeSmå

Besmå är ett Innovationskluster som har Energimyndigheten som initiativtagare och finansör och TMF (Trä- och möbelföretagen) som huvudman.

Syftet med Besmåns arbete är att driva utvecklingsprojekt för att minska energianvändningen vid nybyggnation och renovering av småhus.

Besmå ska ta fram metoder och verktyg för att undanröja hinder för att en bred marknadsintroduktion av energieffektiviserande åtgärder ska komma till stånd i småhussektorn.

Aktiviteter inom nätverket innefattar förstudier, teknikupphandlingar, kommunikationsaktiviteter och demonstrationsprojekt med målet att ta fram kravspecifikationer, beräkningsmetoder, verktyg, arbetsinstruktioner och incitamentsmodeller. En viktig del av arbetet består också av att sprida resultat och erfarenheter från pågående och genomförda projekt.

Besmåns mål är att

- minska beroendet av energi i form av värme och el i småhus och att därmed minska påverkan på miljön,
- ta fram metoder och verktyg för att undanröja hinder för en bred marknadsintroduktion av energieffektiviserande åtgärder i småhussektorn,
- skapa förutsättningar för en tidigare introduktion av energieffektiva system och produkter på marknaden med hjälp av en samlad beställarkompetens och nätverksaktiviteter,
- skapa förutsättningar för lönsam energieffektivisering med bibehållen eller förbättrad inomhusmiljö.

Besmå leds av en styrgrupp och två referensgrupper för nyproduktion respektive det befintliga beståndet av småhus i Sverige. Styrgruppen är beslutande organ och säkerställer att Klustret arbetar mot de uppsatta målen för BeSmå. En del av arbetet är att ta beslut gällande förstudier och projekt som diskuterats i referensgrupperna liksom andra aktiviteter inom kommunikation och utbildning.

1.2 Bakgrund

I dagens småhusbestånd har ca 25 % en bergvärmepump installerad. Livslängden på en värmepump är ca 15 år till 20 år, medan borrhålen går att återanvända om en ny bergvärmepump installeras. Moderna bergvärmepumpar är oftast betydligt mer effektiva, dvs de kan ta ut mer värme ur borrhålen, men då ökar risken att temperaturen i borrhålet sjunker för att till slut vara så låg att borrhålet inte längre kan utnyttjas. För att undvika detta finns ofta en reglering som begränsar uttaget, dvs värmepumpen används inte fullt utan huset värms istället med elspets.

I början av 2000-talet installerades många nya bergvärmepumpar och dessa kommer att behöva bytas ut inom kommande år. Därför finns det ett behov av att undersöka hur befintliga borrhål kan användas optimalt tillsammans med en modern bergvärmepump.

I Sverige har vi idag ett överskott på elenergi, men kapacitetsbrist (effekt) under delar av året och i delar av nätet. Det medför att det finns ett ökat intresse för att undvika effektuttag under kritiska tidpunkter för elnätet. Elanvändningen för småhus är ofta hög under de perioder som effekttoppar uppstår i det svenska elnätet. Det är därför angeläget att hålla nere effektbehovet för spetsel som kompletterar bergvärme under dessa perioder.

1.3 Syfte

Syftet med förstudien är både att undersöka hur stort problemet är med underdimensionerade borrhål vid utbyte av bergvärmepump i småhus liksom att identifiera möjliga lösningar för att uppnå en hög täckning av husets värmebehov med befintligt borrhål och med litet behov av spetsel. Solvärme har identifierats som en metod för återladdning av värme till borrhål eller förvärmning. Syftet är att både undersöka denna lösning närmare, samt att identifiera ytterligare koncept för återladdning.

Förstudien ska resultera i ökad kunskap för aktörer inom småhus- och energibranschen och identifiera möjligheter för ett fortsättningsprojekt.

1.4 Genomförande och omfattning

1.4.1 Kartläggning

Förstudien inleddes med en kartläggning av kunskapsläget avseende småhusens möjligheter att använda befintliga borrhål optimalt tillsammans med en modern bergvärmepump. Detta gjordes genom en litteraturstudie där resultat från genomförda utredningar och projekt sammanstälts. Sammanställningen presenteras i avsnitt 2.4. Därefter gjordes en kartläggning av marknaden och vilka befintliga system och lösningar som finns för utbyte av bergvärmepump till ett befintligt borrhål, vilket återges i avsnitt 2.5.

1.4.2 Simulering

För att få en uppfattning av konsekvenserna för hur energiflödena påverkas av olika alternativ vid utbyte av bergvärmepump har simuleringar genomförts i programmet Earth Energy Designer. Simuleringarna har gjorts på ett teoretiskt typhus, med ett uppvärmningssystem bestående av bergvärme och elspets och ett befintligt borrhål på 70 meter. Resultaten presenteras i avsnitt 3.

1.4.3 Intervjuer

Intervjuer har genomförts med 5 värmepumpstillverkare, varav en även tillhandahåller kompletteringslösning med solvärme. Vid intervjuerna kartlades hur värmepumpsleverantörerna ser på marknaden för utbyte av bergvärmepumpar, vilka lösningar som är vanligast samt om de ser något utvecklingsbehov. Intervjuanteckningarna redovisas i avsnitt 4.

1.4.4 Workshop

Den 9 december 2019 genomfördes en workshop med aktörer inom branschen för att föra en dialog om hur marknaden för utbyte av bergvärmepumpar ser ut, vilka utmaningar som finns med underdimensionerade borrhål samt vilket utvecklingsbehov som aktörerna ser.

Inbjudan skickades ut till branschorganisationer och -föreningar som Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningen (SKVP), Geoenergicentrum, Varmt&Kallt och Avanti, till olika leverantörer av värmepumpar och värmepumpslösningar, till forskare inom området samt till borrhålsutförare. I bilaga 1 redovisas deltagarlistan. Resultatet från workshopen presenteras i avsnitt 5.

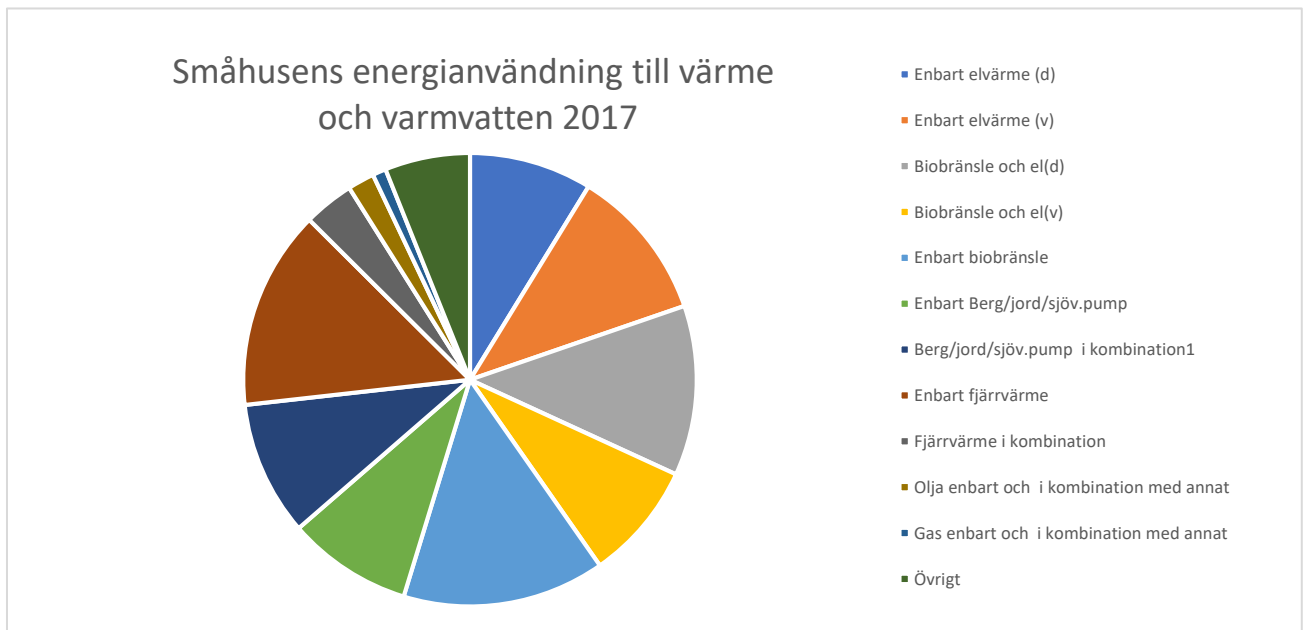
2 Kartläggning av nuläge

2.1 Elanvändning i småhus, nuläge

2.1.1 Uppvärmning av småhus idag

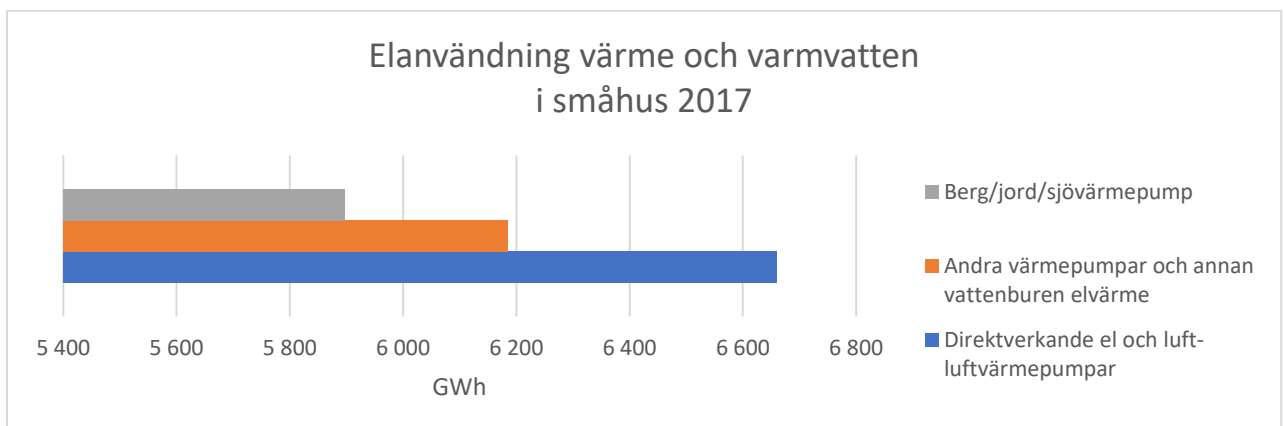
Ungefär 12 % av Sveriges elanvändning går till uppvärmning av småhus (Nyholm, 2016). Drygt hälften av småhuskundernas elanvändning går till uppvärmning och varmvatten. 1,3 miljoner av Sveriges 2 miljoner småhus har någon form av eluppvärmning (direktverkande el, värmepump) (Nyholm, 2016).

47 % av energin till värme och varmvatten i småhus är el. Småhusens uppvärmningsformer visas i figur 1.



Figur 1. Småhusens energianvändning till uppvärmning och varmvatten 2017, fördelat efter uppvärmningsform. Källa: (Energimyndigheten)

En jämförelse över olika typer av värmepumpar och eluppvärmning har gjorts i figur 2 nedan.



Figur 2. Elanvändning till värme och varmvatten för elbaserade uppvärmningsformer i småhus 2017 (Energimyndigheten). Notera att figuren även redovisar kombinationslösningar mellan uppvärmningsformerna

2.2 Om bergvärme

I SGU-rapporten *Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt* (Mikael Erlström, 2016) ges en överblick av vilka typer av geologisk information som kan användas för att bedöma förutsättningarna för geoenergi i Sverige. Det finns i dag mer än 300 000 bergvärmearläggningar med värmepumpar som i huvudsak används för att värma upp småhus.

Bergvärmebrunnar har oftast en diameter på mellan 115 och 165 mm. I brunnen monteras en kollektorslang som fungerar som värmeväxlare. Brunnsdjupet är vanligen 100–300 meter beroende på vilket energiuttag som ska göras och på de geologiska förutsättningarna. Medianvärdet är enligt SGU:s brunnarkiv ca 175 meter. I kollektorslangen cirkuleras en köldbärarvätska, oftast bioetanol och vatten. En del av energin i köldbärarvätskan extraheras genom värmepumpen så att den förhållandevis låga temperaturen från berget höjs till en användbar temperatur i huset. När systemet är slutet används samma köldbärarvätska hela tiden, vilket medför att underhållet är litet.

Vanligen placeras borrhålen med ett avstånd på minst 20 meter från varandra, för att minimera risken för termisk kortslutning mellan borrhålen. I en del fall, framför allt när flera borrhål används i samma anläggning, kan avståndet mellan borrhålen minskas.

När systemet används för uttag av värmeenergi kyls omgivningen kring borrhålet, vilket ger möjlighet att utnyttja bergvärmesystemet till passiv kyla i huset. Det ger i sin tur en fördel genom att berget återladdas, vilket ger bättre prestanda för värmepumpen följande säsong. Eftersom anläggningarna normalt dimensioneras för att utnyttjas under knappt hälften av året, sker en återladdning under den andra halvan av året. Återladdningens storlek och effekt beror på den rådande temperaturgradienten i berget och bergets värmeledningsförmåga. Återladdningen sker kontinuerligt från omgivande mark. Under sommarhalvåret återladdas värmen i den övre delen av marken med hjälp av solen.

Varvtalsreglerade bergvärmepumpar är betydligt mer effektiva än de 15–20 år gamla värmepumpar som byts ut, dvs de kan ta ut mer värmeeffekt ur borrhålet. Med stegvis styrning av varvtal för pumpar och kompressorer kan behovet av tillsatsvärme minskas. Borrhålet belastas hårdare när det blir som kallast, med risk att temperaturen i borrhålet sjunker för att till slut vara så låg att det inte längre kan utnyttjas. För att undvika detta finns ofta en reglering som begränsar uttaget av värmeenergi från borrhålet, dvs värmepumpen används inte fullt utan huset värms istället med elspets.

I boken *Bergvärme på djupet* (Björk, o.a., 2013) beskrivs hur bergvärmesystem kan effektiviseras och hur behovet av spetsel kan minskas. En åtgärd som beskrivs är hur den inkommande köldbärartemperaturen kan höjas genom att använda överskott av solvärme eller värme från frånluft eller utelufts batterier. Vidare beskrivs att användningen av värmepumpen för kyla om sommaren samtidigt laddar energibrunnen med värme. Ytterligare en åtgärd för att minska spetsel kan vara att öka värmeövergångstalet mellan berget och köldbäraren.

2.3 Varför är det intressant att se över effektiviteten för system vid äldre borrhål för bergvärmepumpar?

2.3.1 Styrning av värmepumpar minskar toppoeffektbehovet

I Färdplan för fossilbränslefri uppvärmningssektor (Fossilfritt Sverige, 2018) riktas uppmaningar till värmepumpsaktörer där en av fem punkter handlar om att styra energianvändningen för att minska effektbehovet för uppvärmning. Ytterligare en punkt handlar om att minska elanvändningen och toppoeffektbehovet. En lång rad fastighetsägare, energibolag och andra organisationer bl.a. Svenska Kyl och Värmepumpsföreningen står bakom initiativet.

2.3.2 Ändrade tariffer för effektivt utnyttjande av elsystemet

Den 2 oktober 2018 beslutade regeringen om en ändring i elförordningen (2013:208). Ändringen innebär att Energimarknadsinspektionen (Ei) får meddela föreskrifter om hur nättariffer ska utformas för att främja ett effektivt utnyttjande av elnätet. Ei har startat ett projekt för att ta fram föreskrifter om hur nättariffer ska utformas för att främja ett effektivt utnyttjande av elnätet (Energimarknadsinspektionen, 2019). Projektet beräknas löpa till våren 2020.

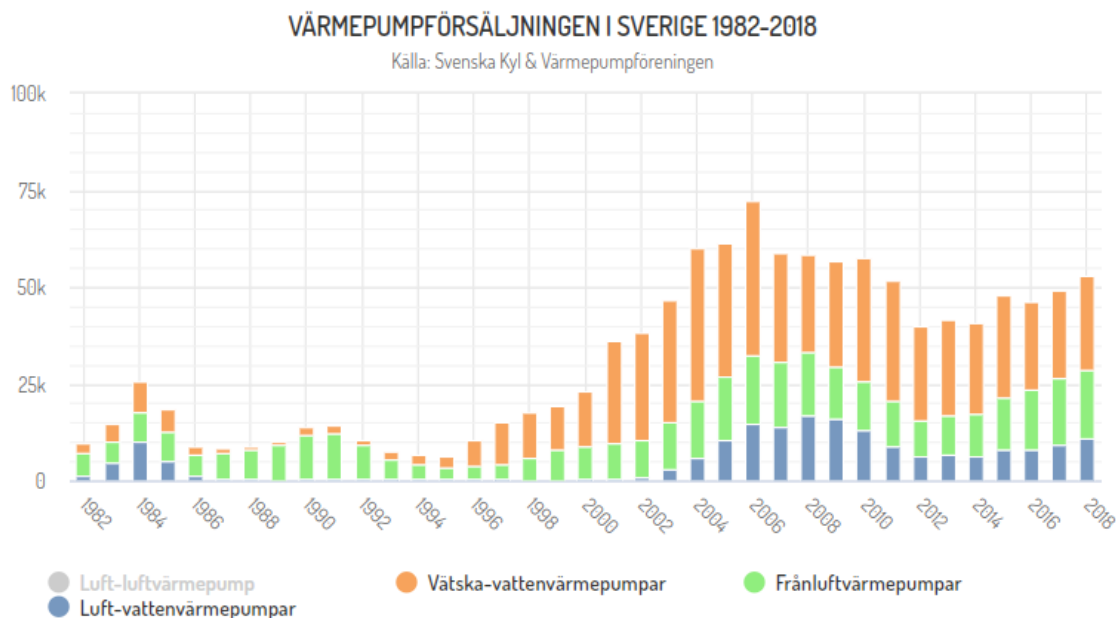
I oktober gav regeringen ett uppdrag till Energimarknadsinspektionen om analys och förslag till åtgärder avseende kapacitetsbrist i elnäten (Regeringen, 2019). Bakgrunden är att den senaste tiden har samhällets ökade efterfrågan på el lokalt medfört att nätkapacitetsbrist uppstått på flera platser och regioner i Sverige.

Regeringens uppdrag innebär att undersöka omfattningen av kapacitetsbrist i elnäten, utreda hur problematiken sett ut över tid samt analysera förutsättningar och åtgärder kopplat till de problem som identifieras. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet senast den 1 oktober 2020. En delredovisning av uppdraget ska göras senast den 30 april 2020.

Det finns ett förslag att utrustning för styrning i småhus ska ges statliga subventioner (Alvehag, 2016).

2.3.3 Omfattning för försäljning av bergvärmepumpar i svenska småhus

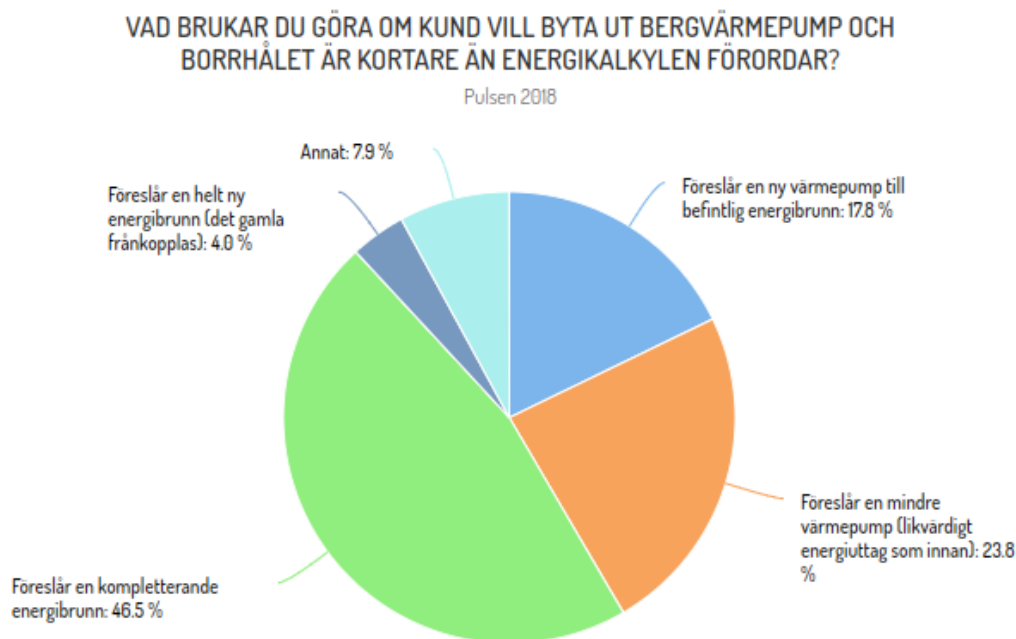
Sedan början av 1990-talet har värmepumpar för uppvärmning av småhus fått ett stort genomslag, se figur 3. Statistik från Svenska Kyl & Värmepumpsföreningen, SKVP, visar att försäljningen av värmepumpar för vattenburna värmesystem som hämtar värme via ett vätskeburet system från exempelvis berg eller jord ökat från 14 500 sålda anläggningar år 2000 till en toppnotering på över 40 000 anläggningar per år 2006. (Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningen, 2019) Under de senare åren har antalet sålda anläggningar varit runt 23 000 sålda anläggningar per år. Det innebär att det årligen byts ut ett stort antal anläggningar, och att många bergvärmepumpar kommer behöva bytas ut inom de närmsta åren då livslängden på äldre värmepumpsanläggningar beräknas vara 15 till 20 år.



Figur 3. Utveckling av värmepumpsförsäljningen 1982–2018, exkl. luft-luftvärmepumpar. Bildkälla: <https://skvp.se/aktuellt-o-opinion/statistik/varmepumpsforsaljning>

2.3.4 Utmaningar vid utbyte av bergvärmepump

Via årliga enkätundersökningar följer SKVP hur marknaden för värmepumpar utvecklas. Enkäten har namnet PULSEN och riktas till återförsäljare och installatörer av värmepumpar till konsument. Under åren 2016 till 2018 ställdes frågor om hur medlemmarna agerar kring de utmaningar som man konstaterat kan uppstå på vid utbyte av befintliga värmepumpar. Det problem som adresserades var att den befintliga energibrunnen riskerar att vara för kort. I figur 4 visas en sammanställning av hur medlemmar agerat vid installation av en ny bergvärmepump i ett befintligt, för kort borrhål.



Figur 4. Sammanställning av hur värmepumpsinstallatörer agerat vid ett för kort borrhål. Bildkälla: <https://skvp.se/aktuellt-o-opinion/statistik/pulsen/2018>

Nedan presenteras en sammanställning av enkätsvar från PULSEN 2018 (Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningen, 2019).

”Resultatet visar på ett splittrat agerande där cirka hälften (47 procent) av medlemmarna föreslår ett kompletterande borrhål medan resterande del installerar en ny värmepump på befintlig energibrunn där det antingen installeras en mer eller mindre heltäckande värmepump (18 procent) alternativt försöker kompensera ett kort borrhål med en mindre värmepump (24 procent). I år gavs möjligheten för medlemmarna att kommentera sitt val vilket de flesta även gjorde. Sammanfattningsvis kan sägas att de som kompletterar gör det med motiveringen att det är säkrast, att det ger bäst verkningsgrad/besparing, att energibehovet i bostaden troligtvis är ännu högre än när ursprungsanläggningen installerades. De som väljer en mindre värmepump gör det för att det är säkrare än en heltäckande, för att kunden inte vill kosta på att kompletteringsborra eller att kunden är nöjd med samma besparing de haft tidigare. De som väljer en heltäckande ny värmepump gör det ofta med inställningen att man provar och ser hur det går och därefter kompletterar med en ny energibrunn senare om behov uppstår. Flera upplever också att det erfarenhetsmässigt inte brukar bli problem med ett ökat energiuttag. En intressant iakttagelse är att flera medlemmar förlitar sig på de system som finns i moderna varvtalsstyrda värmepumpar vad gäller styrning av effektuttag från energibrunnen.”

2.3.5 Marknad för varvtalsreglerade värmepumpar, frikyla, solenergi samt styrning

Enkät svar från PULSEN (Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningen, 2019) visar att andelen bergvärmepumpar som är varvtalsstyrda fortsätter att öka i försäljning se figur 5. De utgör nu 62 % av total försäljning jämfört med förra årets andel på 50 %. Med stegvis styrning av varvtal för pumpar och kompressor kan behovet av tillsatsvärme minskas. Samtidigt belastas borrhålet hårdare när det blir som kallast.

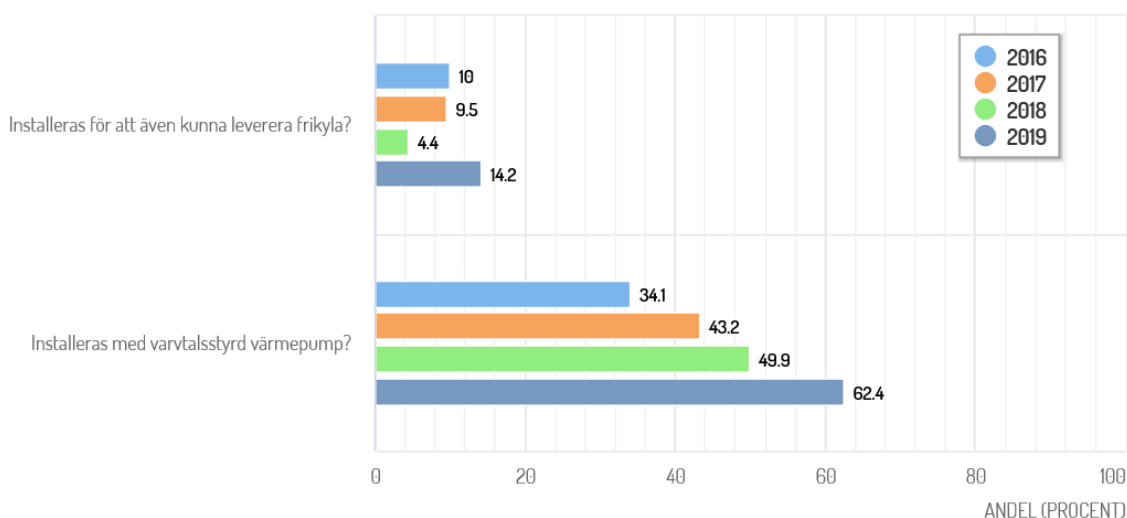
Ett effektivt sätt att återladda borrhålet är att nyttja värmepumpen för komfortkyla sommartid. Enkäten visar att andelen bergvärmeinstallationerna som installeras för att även kunna leverera frikyla har ökat till 14 %. Det är den största ökningen som skett sen 2016 och skulle kunna bero på den varma sommaren 2018.

Närmare 40 % av de som besvarat enkäten erbjuder solesinstallationer och 35 % erbjuder solvärmeinstallationer. Däremot är det sällan bergvärme installeras i kombination med solenergi med syfte att förvärma köldbäraren eller återladda borrhålet.

Då allt fler värmepumpar utrustas med styrfunktioner för såväl effektstyrning för huset som smartgridstyrning har Pulsens undersökt i vilken utsträckning installatörerna hjälper till att starta upp funktionen när de säljer värmepumpar. Cirka 30 % av installatörerna har detta som rutin.

HUR STOR ANDEL (I PROCENT) AV BERGVÄRMEINSTALLATIONERNA NI GENOMFÖR I PRIVATHUSHÅLL:

Pulsens 2019



Figur 5. Andel nyinstallerade bergvärmepumpar som är kan leverera frikyla respektive är varvtalsstyrda. Bildkälla: <https://skvp.se/aktuellt-o-opinion/statistik/pulsens/2019>

2.4 Genomförda utredningar

2.4.1 Värmepumpars påverkan på effektbalansen – Idag och i framtiden

Hur värmepumpar påverkar effektbalansen i Sverige har beskrivits i en rapport som tagits fram av konsultföretaget Profu inom samverkansprogrammet Effsys Expand (Axelsson, Blomqvist, & Unger, 2018). Utredningen är genomförd i samverkan med bl.a. Svenska kyl och värmepumpsföreningen.

I utredningen konstateras att en betydande andel av uppvärmningen av svenska hus sker med värmepumpar och att andelen väntas växa ytterligare de kommande åren. Med ett framtidsperspektiv

med en ökad elektrifiering av samhället och en större andel förnybar elproduktion som är beroende av exempelvis vind ställs frågan om hur värmepumpar påverkar effektbehovet av el.

Utredningen har kartlagt eleffektbehovet för värmepumpar och elvärme idag samt utifrån olika scenarier för år 2030 för småhus, lokaler och flerbostadshus. Dagens eleffektbehov uppskattas till mellan 6 och 9 GW, beroende på hur kall vintern är. Effektbehovet för värmepumpar ökar dock inte nödvändigtvis bara för att mängden värmepumpar gör det. Detta eftersom både verkningsgrad och effekttäckningsgrad för nyare värmepumpar ger lägre effektbehov samtidigt som det finns en generell energieffektivisering som driver åt samma håll. Vidare kan man förvänta sig att någon form av smart styrning av värmepumpar blir vanligare i framtiden, vilket kan möjliggöra en sänkning av värmepumpars effektbehov under kortare tidslängder, när effektsituationen är som mest ansträngd ur ett lokalt, regionalt eller nationellt perspektiv. Därtill innebär konvertering av elvärme (direktel och elpanna) till värmepumpar ett minskat effektbehov. Utredningen har tittat på två scenarier; mer individuellt, som innebär ökad andel värmepumpar, och energisnålare hus vilket ger lägre energibehov totalt. För scenariot med ökad andel värmepumpar antas den största andelen bergvärmepumpar vara utbytta värmepumpar. Av dessa antas hälften komplettera borrhålet vid byte, för att nå full prestanda, medan övriga anpassar prestandan efter borrhålet och får 65 % effekttäckning och att värmefaktorn kan öka till 3,8. Båda scenarierna visar på ett minskat effektbehov till år 2030 i storleksordningen 20 till 40 procent.

Utredningen poängterar att elbehovet till uppvärmning står för en relativt stor del av det totala elbehovet i Sverige och ligger på mellan 10 och 25 GW beroende på säsong. Elbehov för uppvärmning utgör huvuddelen av skillnaden mellan vinter- och sommarlasten.

Utredningen drar slutsatsen att produktionsresurserna under normala förhållanden kan täcka effektbehovet under samtliga timmar fram till 2030. Den pekar dock på att osäkerheterna är många och att avvikelser från normala förhållanden kan ge problem med elbalansen. Utredningen visar också att smart styrning och flexibel elanvändning är viktiga parametrar på framtidens elmarknad.

2.4.2 Solvärme i bostäder med analys av kombinationen solfångare och bergvärmepump

I sin licentiatavhandling från 2004 belyser Elisabet Kjellson (Kjellson, 2004) hur solfångare kan användas i kombination med bergvärmepump. Författaren beskriver att solvärme kan användas på olika sätt i ett system med bergvärmepump. De mest flexibla systemen omfattar att solvärme används direkt för uppvärmning av varmvatten och/eller uppvärmning av byggnaden, förvärmning av köldbäraren innan värmepumpen eller till att ladda borrhålet, utifrån värmebehov och temperaturnivåer.

I avhandlingen simulerades ett antal olika fall för att undersöka för- och nackdelar med de olika systemlösningarna. Resultatet visar att återladdning av borrhålet leder till högre köldbärartemperatur till värmepumpen, vilket ger en högre COP för värmepumpen.

Med en styrning där all solvärme används för att förvärma köldmediet när värmepumpen är igång respektive ladda borrhålet när värmepumpen inte är igång så kan årsmedeltemperaturen på köldbäraren höjas med 2,5 °C i ett borrhål på 70 m om solfångare på 10 m² kopplas in. Vid underdimensionerade borrhål kan denna höjning nyttjas för att kompensera för ett alltför stort värmeuttag. Även för de kallaste månaderna kan köldbärartemperaturen höjas med 1 °C med en solfångarearea på 10 m², och i avhandlingen framgår att skillnaden mellan ett rent bergvärmesystem och ett system med bergvärme och 10 m² solpaneler motsvarar ungefär 20 meter borrhål vid samma dimensionering.

Dock visar simuleringarna att det krävs en ökad drifttid för cirkulationspumparna, och att den ökade elanvändningen för pumparna kan överstiga nyttan av den inladdade solvärmen. Pumparnas effekt och styrning är avgörande för om systemets SFP ska förbättras av återledningen.

2.4.3 Bergvärme kombinerat med uteluftkonvektor

En utredning genomfördes 2014 kring eventuella fördelar med att komplettera befintliga bergvärmepumpsanläggningar för småhus med en uteluftkonvektor. Utredningen genomfördes vid Institutionen för Energiteknik vid KTH inom forskningsprogrammet Effsys+. (Stare & Joachim, 2014)

Utredningen fokuserar på det faktum att många bergvärmepumpar närmar sig sin tekniska livslängd och behöver bytas ut. Ofta installeras då en ny, mer effektiv värmepump med liknande eller större värmeavgivning, medan energibrunnen som har betydligt längre teknisk livslängd återanvänds. Praxis för dimensionering av värmepumpar har också ändrats, från 50 % effekttäckning av DVUT (dimensionerad vinterutetemperatur) till 70 % täckning. I utredningen studeras hur ett system där en bergvärmepump kompletteras med en uteluftkonvektor kan ge värme under de delar av året då uteluftstemperaturen är högre än temperaturen i marken. Fyra fall studerades, samtliga i Stockholm för ett typhus på 160 m² med ett årligt värmebehov på 17,7 MWh. Alla fall har simulerats för tre olika borrhålskonfigurationer: ett borrhål med djup på 70 meter, ett borrhål med djup på 100 meter respektive ett borrhålsfält med djup på 100 meter. För fallet med ett borrhål på 100 meter har även simulerats vad som händer om samma dimensioneringskriterier används som vid den ursprungliga installationen, dvs. 50 % effekttäckning.

1. Uteluftstemperaturen är högre än returtemperaturen från berget, och används för att förvärma köldbäraren.
2. Uteluftstemperaturen är tillräckligt hög för att enskilt tillgodose husets värmebehov.
3. Uteluftstemperaturen är låg, och endast borrhålet används för att tillgodose husets värmebehov.
4. Uteluftstemperaturen är högre än returtemperaturen från berget och används för att återladda borrhålet.

Simuleringarna visar att det endast är i specifika fall som en uteluftskonvektor är energitekniskt rimlig att använda, t.ex. om den installerade värmepumpen har en funktion för avstängning vid för låga köldbärartemperaturer eller om borrhålet finns i ett område med många energibrunnar. Resultatet visar också att det inte alltid är rimligt att sätta in en värmepump med högre effekt vid utbyte. Det ger teoretiskt högre COP, men ger ett mycket högre energiuttag ut berget vilket ökar risken för påfrysning av hålet och att värmepumpen slutar fungera. Att använda gamla dimensioneringskriterier för en ny värmepump, tillsammans med återladdning, verkar minska den risken.

2.4.4 Solhybrid och bergvärme

En kombination av solhybrid och bergvärmepump har testats inom programmet *E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende*. Utvärderingen har genomförts av SP (nuvarande RISE), Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. (Gervind, Besson, Jardeby, & Nordman, 2016).

Forskningsprojektet syftade till att utreda energi- och kostnadseffektivitet samt utvecklingspotential för ett nytt energisystem bestående av solhybridteknik med solvärme kopplad till bergvärmepumpar samt borrhål i lagerformation.

I en solhybrid kombineras en solcellspanel med en termisk baksida. Kallt flöde från bergvärmehål/energilagrar eller värmepumpens kalla sida skickas genom solcellspanelens termiska baksida. Det kalla flödet kyler solhybriden och tar samtidigt upp överskottsvärmen. Solhybriden är i drift även utan solinstrålning och fungerar då som en luft/vatten värmeväxlare och levererar därmed energi dygnet runt ända ner till 0 grader. Den energi som returneras till bergvärmehålet värms upp vår, sommar och höst och bidrar till att borrhålet inte kyls ner.

Inom projektet har systemet installerats i en bostadsrättsförening med 70 lägenheter i centrala Kungälv som tidigare värmts med fjärrvärme. Systemet består av solhybridpaneler (330 m²) som genererar både el och värme samt tre bergvärmepumpar med 11 borrhål på ett avstånd av 15 meter från varandra.

Inledningsvis var solhybriderna kopplade så att solvärmen fördes direkt ner i borrhålen för återladdning. För att minska förlusterna korrigerades detta under projektet. Nu används i första hand värmen från solpanelerna för uppvärmning och varmvatten, genom att värmen från solpanelerna värmväxlas mot brinekretsen för att förse värmepumpen med värme. I andra hand används värmen från solpanelerna till att återladda borrhålet.

Utvärderingen visar att solhybriden höjer temperaturen på värmepumpens tillopp, vilket ger ett visst bidrag till att höja värmepumparnas verkningsgrad. Det märks tydligast under hösten när solvärmen fortfarande levererar värme samtidigt som det finns ett värmebehov i byggnaden. För att få ökad effektivitet även under vintern behöver solvärmen lagras under sommaren. Tanken var att borrhålen skulle fungera som ett säsongslager, men då borrhålen var för glest placerade har inte den solvärme som laddas i borrhålen inte påverkat dess temperatur. Dock konstaterar författarna att den nedladdade solvärmen troligen ger en positiv effekt på borrhålens livslängd. Investeringen bedöms vara lönsam för föreningen på lång sikt.

2.4.5 Sammanfattning av genomförda utredningar

En betydande andel av uppvärmningen av svenska hus sker idag med värmepumpar, och andelen väntas växa ytterligare de kommande åren. Med ett framtidsperspektiv med en ökad elektrifiering av samhället och en större andel förnybar elproduktion som är beroende av exempelvis vind finns anledning att fråga sig hur värmepumpar påverkar effektbehovet av el. Eleffektbehovet för värmepumpar och elvärme har kartlagts, både för dagens behov samt utifrån olika scenarier för år 2030 för småhus, lokaler och flerbostadshus. De två scenarier som utretts är dels en ökad andel värmepumpar, och dels energisnålare hus vilket ger lägre energibehov totalt. Båda scenarierna visar på ett minskat effektbehov till år 2030 i storleksordningen 20–40 procent. För scenariot med ökad andel värmepumpar antas den största andelen bergvärmepumpar vara utbytta värmepumpar. Av dessa antas hälften komplettera borrhålet vid byte, för att nå full prestanda, medan övriga anpassar prestandan efter borrhålet och får 65 % effekttäckning och att värmefaktorn kan öka till 3,8.

För att effektivisera bergvärmesystem finns olika alternativ. En åtgärd är att den inkommande köldbärartemperaturen kan höjas genom att använda överskott av solvärme eller värme från frånluft eller utelufts batterier. Ett annat alternativ är att använda överskottsvärmen till att återladda borrhålet. Användningen av bergvärmepumpen för kyla om sommaren medför också att energibrunnen samtidigt laddas med värme.

I en avhandling har en simulering gjorts av ett system där solvärme används direkt för uppvärmning av varmvatten och/eller uppvärmning av byggnaden, förvärmning av köldbäraren innan värmepumpen eller till att ladda borrhålet, utifrån värmebehov och temperaturnivåer. Resultatet visar att återladdning av borrhålet leder till högre köldbärartemperatur till värmepumpen, vilket ger en högre SCOP för värmepumpen. Enligt simuleringarna kan temperaturen på köldbäraren höjas med 2,5 °C i ett borrhål på 70 meter om solfångare på 10 m² kopplas in. Resultatet visar också att skillnaden mellan ett rent bergvärmesystem och ett system med bergvärme och 10 m² solpaneler motsvarar ungefär 20 meter borrhål vid samma dimensionering. Dock visar simuleringarna att det krävs en ökad drifttid för cirkulationspumparna, och att den ökade elanvändningen för pumparna kan överstiga nyttan av den inladdade solvärmen. Denna avhandling är emellertid från 2004, och med dagens mer

effektiva, varvvalsstyrda cirkulations- och värmepumpar blir troligen inte elanvändningen lika stor som för 15 år sedan, då anläggningen togs i drift.

Ett liknande system, men med solhybrider som även producerar el, har testats och utvärderats i en bostadsrättsförening. Utvärderingen visar att solvärmens höjer temperaturen på köldbäraren vid värmepumpens tillopp, vilket ger ett visst bidrag till att höja värmepumparnas verkningsgrad. Det märks tydligast under hösten när solvärmens fortfarande levererar värme samtidigt som det finns ett värmebehov i byggnaden. Dock konstateras att den nedladdade solvärmens troligen ger en positiv effekt på borrhålets livslängd. Investeringen bedöms vara lönsam för föreningen på lång sikt.

I en annan utredning har simuleringar gjorts för att studera hur ett system där en bergvärmepump kompletteras med en uteluftkonvektor som kan ge värme under de delar av året då uteluftstemperaturen är högre än temperaturen i marken. Simuleringarna visar att det endast är i specifika fall som en uteluftskonvektor är energitekniskt rimlig att använda, t.ex. om den installerade värmepumpen har en funktion för avstängning vid för låga köldbärartemperaturer. Resultatet visar också att det inte alltid är rimligt att sätta in en värmepump med högre effekt vid utbyte. Det ger teoretiskt högre COP, men ger ett mycket högre energiuttag ut berget vilket ökar risken för påfrysning av hålet och att värmepumpen slutar fungera.

2.5 Exempel på tillgängliga produkter

2.5.1 *BorrhålsBooster*

BorrhålsBooster skapar luftbubblor i borrhål för bergvärme och -kyla för att öka effekten i borrhålet genom att underlätta energiöverföringen från berget till värmeanläggningen. Den används som komplement tillsammans med ett traditionellt bergvärmesystem. Genom att skapa luftbubblor i borrhålet blandas det stillastående vattnet, vilket underlättar överföringen mellan borrhålets grundvatten och kollektorslangens vätska. Dessutom drar bubblorna till sig nytt, energirikt vatten genom de vattenförande sprickorna i det omgivande berget. Detta leder till att värmepumpen får en högre verkningsgrad, SCOP. Därutöver drar luftbubblorna med sig det varmare bottenvattnet upp i foderröret vilket ökar kollektorns termiska längd samtidigt som problem med toppfrysning försvinner.

BorrhålsBooster har testats hos både Luleå Tekniska Universitet, Karlstad Universitet och vid KTH i Stockholm. Även om berggrundens beskaffenhet varierar i landet visar de termiska responstesterna (TRT) positiva resultat. Vanligast är att installera tekniken för att minska behovet av spetsvärme och uppnå lägre kostnader i driften. Den kan även användas om markarealen är för liten för att uppnå kalkylerade antal borrhål som behövs. Tekniken kompenserar då för de färre hålen med en ökad effekt. BorrhålsBoostern ger ett Rb-värde (borrhålsmotstånd) på -28 % och konduktiviteten (bergets förmåga att leda energi) ökar med +28 %. Utöver effektvinsten skapar den ökade konvektionen en jämnare temperatur i hela borrhålet. Det bidrar även till att minska uppkomsten av isolerande slam på slangar och bergvägg. I manöverpanelen ges information om det aktiva djupet för varje borrhål. Det ger ett kvitto på att varje borrhål fungerar som det ska. Produkten är idag anpassad för större anläggningar, exempelvis en närvärmeanläggning för en grupp villor. Dock finns planer på att ta fram ett "villapakett" med BorrhålsBooster kombinerat med solhybrid för enskilda villor.

2.5.2 *Bergvärmepump för utbyte, Thermia*

Thermia lanserade under hösten 2019 en ny bergvärmepump, Thermia Calibra, som är designad för utbytesmarknaden (Thermia Värmepumpar, 2019). Värmepumpen är inverterstyrd och har ett styrsystem som anpassar driften efter fastighetens värmebehov och befintliga borrhål. Systemet känner av hur mycket energi som kan hämtas och ser till att borrhålets fulla potential utnyttjas.

2.5.3 Bergvärmepump med adaptiv borrhålskontroll, Mitsubishi

Mitsubishi erbjuder en bergvärmepump för utbytesmarknaden, Mitsubishi Geodan (Mitsubishi). Bergvärmepumpen har adaptiv borrhålskontroll som automatiskt anpassar driften till det befintliga borrhålet för att minimera risken för frysning av borrhålet. Detta görs genom att maxfrekvensen minskas om temperaturen närmar sig frysrisk i borrhålet.

2.5.4 Hybrid Solar System, Free Energy

Det norska företaget Free Energy saluför ett energisystem för småhus och större fastigheter som kombinerar solvärme och bergvärme under namnet Hybrid Solar System, HYSS. Systemet dimensioneras för att täcka hela effektbehovet för värme och varmvatten och ger prioritet åt solvärme som används både för beredning av varmvatten och för att effektivisera bergvärmepumpen. För en villa kan systemet bestå av en bergvärmepump, ca 12 m² solfångare och en ackumulatortank på ca 200 liter. Systemet som styrs automatiskt har tre olika driftlägen beroende på tillgången på solenergi. Vid god tillgång på sol producerar solvärmesystemet varmvatten som lagras i tanken. Under vår och höst används solenergin för att effektivisera bergvärmepumpen genom att förvärma kylslangen till värmepumpen. Om solvärmesystemet producerar mer energi än vad som behövs går värmen ner i borrhålet för att återladda det. Systemet har därmed inget behov av spetsel, utan borrhålet fungerar som ett lager som medger ett större värmemuttag under kalla perioder. Systemet ger vanligtvis ett halverat behov av elenergi i jämförelse med ett konventionellt bergvärmesystem.

Free Energy har hittills levererat ca 150 villasystem på den nordiska marknaden. De äldsta anläggningarna har varit i drift under 5 till 6 år. Förutom att en del mindre komponenter har behövt ersättas med mer beständiga material till följd av de jämförelsevis höga arbetstemperaturerna har anläggningarna fungerat problemfritt. En anledning uppges vara att systemen är uppkopplade så att driftsdata kan loggas och uppdateringar av programvara kan göras utan platsbesök.

Free Energy håller på att ta fram ett add-on koncept som innebär att solvärmetekniken som de använder kan användas även tillsammans med andra värmepumpsfabrikat, vilket skulle kunna ge tekniken vid spridning.

(Kanewoff, 2019)

2.5.5 Solhybrid Samster AB

Samster AB har utvecklat en solhybrid med solvärme och solel som kan kombineras med en bergvärmepump. Genom att leda köldmediet från värmepumpens kalla sida genom hybridens termiska baksida kyls solpanelerna ner och köldmediet tar upp överskottsvärmen. Den insamlade energin från solpanelen leds sedan ned i borrhålet. Detta ger enligt återförsäljaren både en bättre prestanda och en längre livslängd på både solpanelen och värmepumpen, på grund av låga, jämna temperaturer på solpanelen och bättre arbetstemperatur för värmepumpen. Dessutom återladdas borrhålet och minskar risken för att borrhålet blir för kallt. Systemet går även att kombinera med fjärrvärme, där fjärrvärmen används för att värma upp borrhålet under sommaren. (Samster, 2019)

3 Simulering av olika system

För att få en uppfattning av konsekvenserna för hur energiflödena påverkas av olika alternativ vid utbyte av bergvärmepump har simuleringar genomförts i programmet Earth Energy Designer. Simuleringarna har gjorts på ett teoretiskt typhus, som presenteras i bilaga 2, med ett uppvärmningssystem bestående av bergvärme och elspets och ett befintligt borrhål på 70 meter.

Indata har framförallt hämtats från en utredning som genomfördes vid Institutionen för Energiteknik vid KTH inom forskningsprogrammet Effsys+. (Stare & Joachim, 2014). Indata har framförallt hämtats från utredningen kring eventuella fördelar med att komplettera befintliga bergvärmepumpsanläggningar för småhus med en uteluftkonvektor. (Stare & Joachim, 2014). Syftet med simuleringarna är att de ska ge en likvärdig jämförelse mellan de olika systemen, inte att simuleringarna ska representera hur respektive system fungerar i ett verkligt hus på 2010-talet.

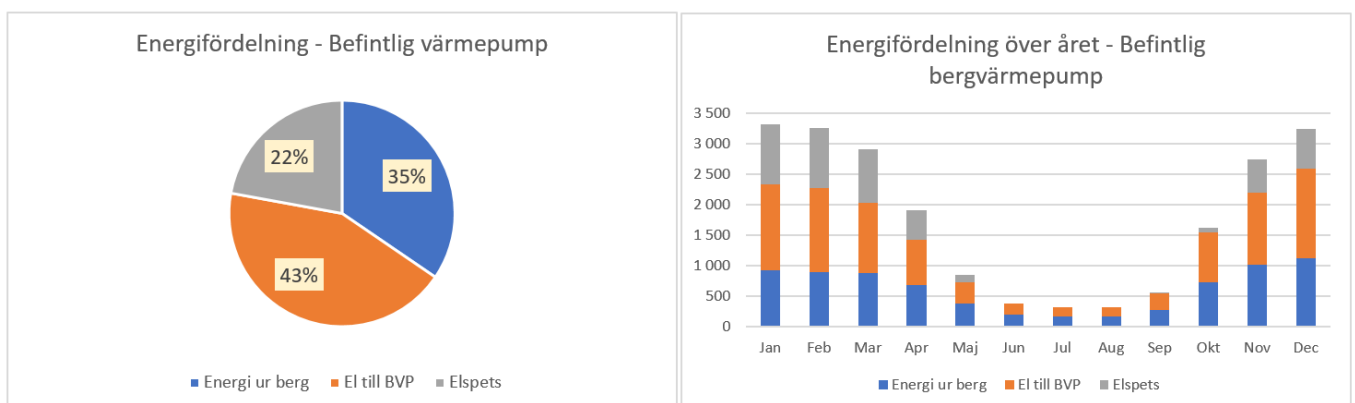
3.1 Befintlig bergvärmepump

För att få ett relevant utgångsläge för simuleringarna så simulerades inledningsvis 20 års drift med den befintliga bergvärmepumpen. I tabellen nedan presenteras indata till simuleringen.

Effekt täckningsgrad	50 %
Energitäckningsgrad	85 %
COP (varierande över året)	1,7–2,1
Köldmedium	R22
Isentropisk verkningsgrad	60 %

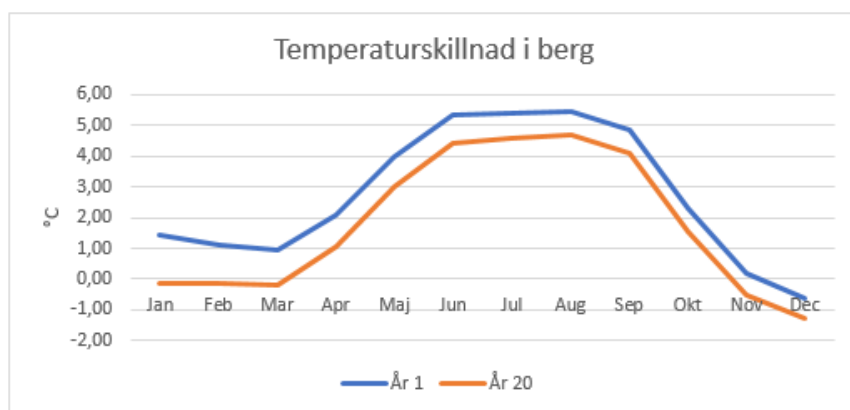
I denna simulering täcks värmebehovet för huset enligt fördelningen i tabellen nedan. I figur 6 redovisas den procentuella energifördelning och energifördelningen över året.

Energiuttag ur berg	7 400 kWh/år
El till värmepump	9 300 kWh/år
Elspets	4 700 kWh/år



Figur 6. Energifördelning enligt simulering för en befintlig bergvärmepump.

I figur 7 ses hur temperaturen i berget påverkas av driften av bergvärmepumpen.



Figur 7. Temperaturskillnaden mellan köldbäraren upp ur berget och köldbäraren ner i borrhålet vid simulering av en befintlig bergvärmepump.

Simuleringen av en befintlig bergvärmepump visar på ett effektuttag ur borrhålet på som högst 21 W/m. Temperaturen i borrhålet sjunker med ca 1 °C under 20 års drift och den lägsta temperaturen i borrhålet är – 1,3 °C år 20.

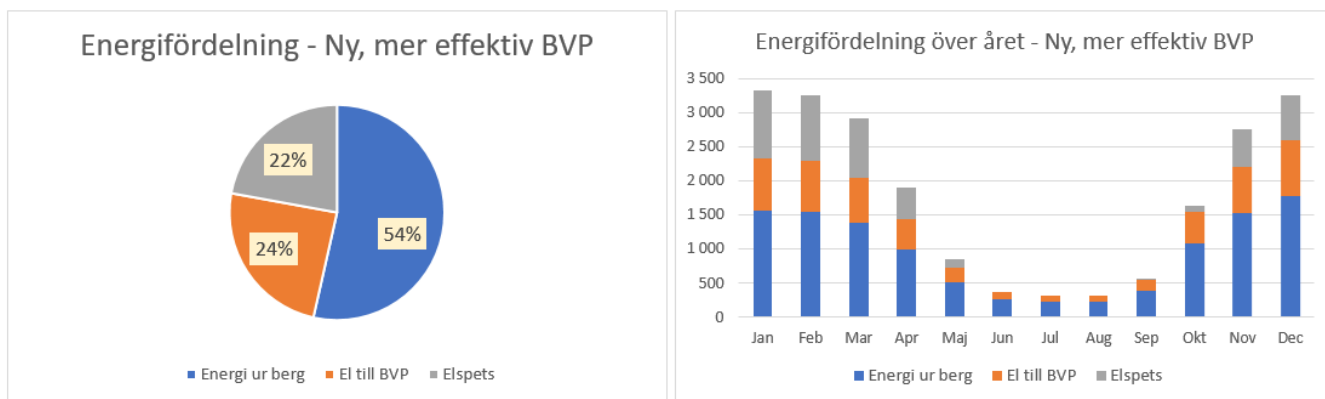
3.2 Utbyte till mer effektiv bergvärmepump

Det första fall som simulerats innebär att den befintliga bergvärmepumpen byts ut till en mer effektiv bergvärmepump, med högre COP. I övrigt behålls samma dimensionering som för den ursprungliga bergvärmepumpen. I tabellen nedan presenteras indata till simuleringen.

Effekt täckningsgrad	50 %
Energitäckningsgrad	85 %
COP (varierande över året)	3,1–3,5
Köldmedium	R410A
Isentropisk verkningsgrad	79 %

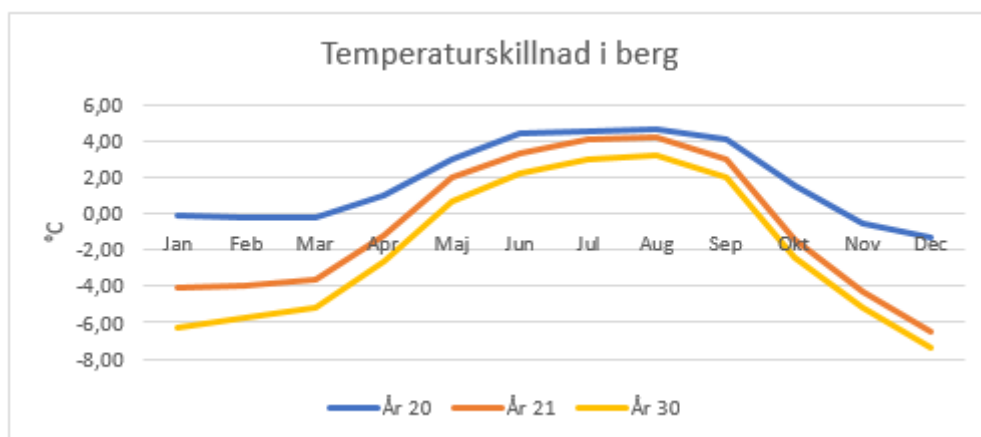
I denna simulering täcks värmebehovet för huset enligt fördelningen i tabellen nedan. I figur 8 ses den procentuella energifördelning och energifördelningen över året.

	Mer effektiv BVP	Jämförelse ursprunglig BVP
Energiuttag ur berg	11 500 kWh/år	↗
El till värmepump	5 200 kWh/år	↘
Elspets	4 700 kWh/år	=



Figur 8. Energifördelning enligt simulering för en ny bergvärmepump med högre COP.

När en mer effektiv bergvärmepump sätts in ökar energiuttaget ur berget med ca 55 %, jämfört med den befintliga bergvärmepumpen, samtidigt som elbehovet till bergvärmepumpen minskar. Det större energiuttag ur berget leder till en drastisk sänkning av temperaturen i berget. I figur 9 redovisas hur temperaturen i berget påverkas av den nya, mer effektiva bergvärmepumpen.



Figur 9. Temperaturskillnaden mellan köldbäraren upp ur berget och köldbäraren ner i borrhålet vid simulering av en ny bergvärmepump med högre COP.

Totalt sjunker temperaturen med 1,3 °C mellan år 21 och år 30. Den lägsta temperaturen i berget är -6,5 °C år 21 och -7,4°C år 30. Effektuttaget ur berget är som högst 35 W/lm.

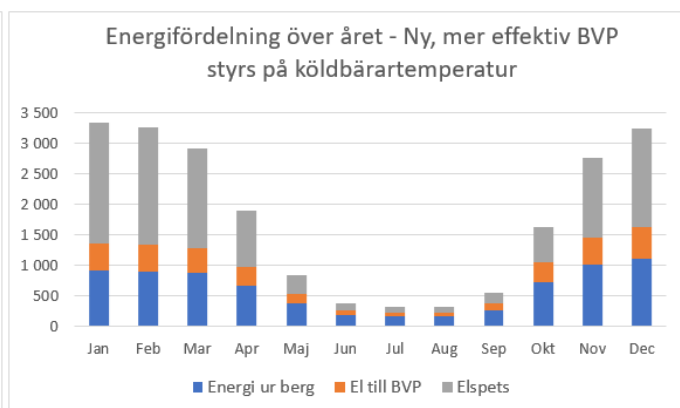
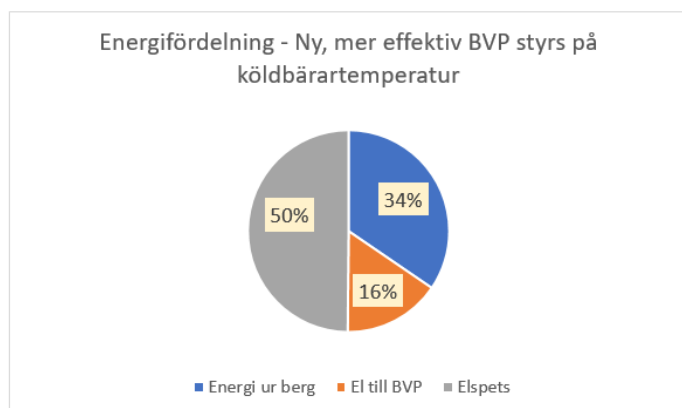
3.3 Utbyte till mer effektiv bergvärmepump med styrning på köldbärartemperatur

En vanlig lösning vid utbyte av bergvärmepump är att styra driften av värmepumpen för att inte överbelasta borrhålet. I denna förstudie har det förenklat simulerats med en mer effektiv värmepump men med samma energiuttag ur berget som med den befintliga bergvärmepumpen. I verkligheten kan det dock i vissa fall gå att öka energiuttaget ur berget något, utan att överbelasta borrhålet. I tabellen nedan presenteras indata till simuleringen.

Effekt täckningsgrad	50 %
Energitäckningsgrad	85 %
COP (varierande över året)	3,1–3,5
Köldmedium	R410A
Isentropisk verkningsgrad	79 %

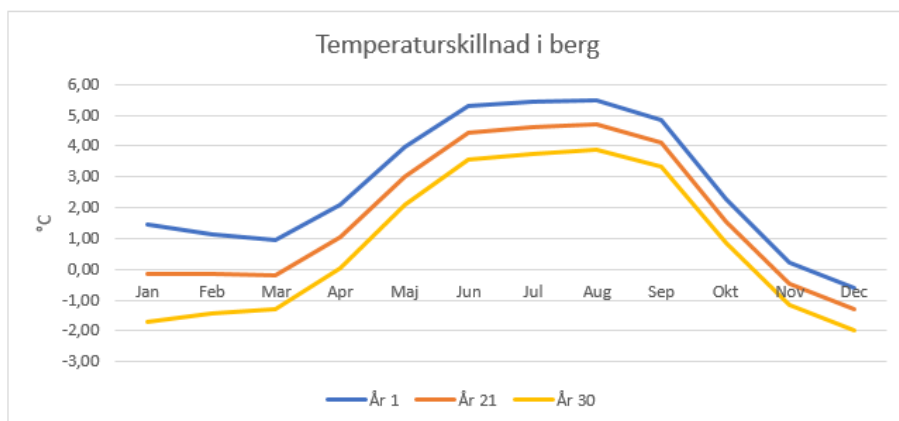
I denna simulering täcks värmebehovet för huset enligt fördelningen i tabellen nedan. I figur 10 ses den procentuella energifördelning och energifördelningen över året.

	Mer effektiv BVP	Jämförelse ursprunglig BVP
Energiuttag ur berg	7 400 kWh/år	=
El till värmepump	3 300 kWh/år	↓
Elspets	10 700 kWh/år	↑



Figur 10. Energifördelning enligt simulering för en ny bergvärmepump med högre COP som styrs på köldbärartemperaturen.

När en mer effektiv bergvärmepump sätts in, men begränsas i sin drift minskar elbehovet till värmepumpen men däremot mer än fördubblas behovet av spetsel, framförallt under de kallare månaderna. Däremot så besparas borrhålet då inte lika stor temperatursänkning sker. I figur 11 ses hur temperaturen i berget påverkas.



Figur 11. Temperaturskillnaden mellan köldbäraren upp ur berget och köldbäraren ner i borrhålet vid simulering av en ny bergvärmepump med högre COP som styrs på köldbärartemperatur.

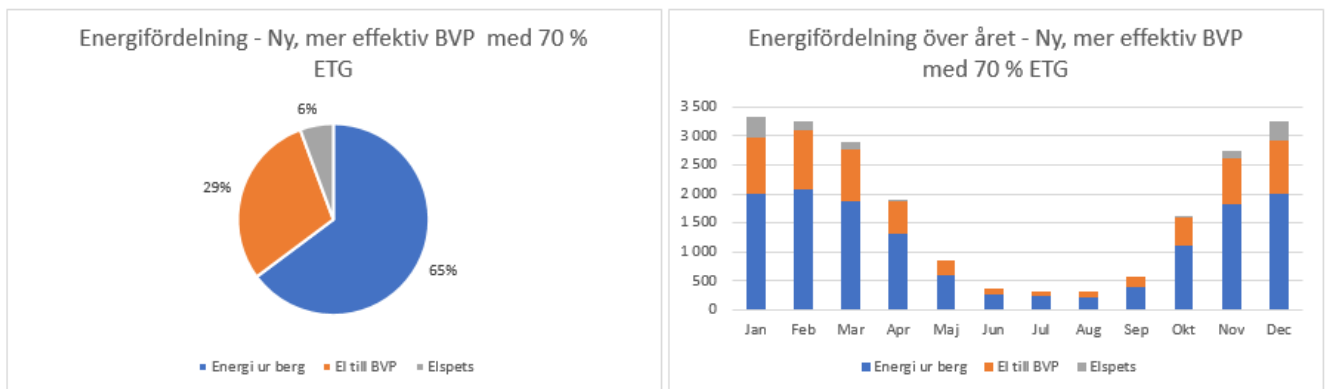
3.4 Utbyte till mer effektiv bergvärmepump med högre effekttäkningsgrad

När nya bergvärmeanläggningar dimensioneras görs beräkningar med en effekttäkningsgrad (ETG) på minst 70 %. Detta har simulerats i denna förstudie, vilket även höjer energitäkningsgraden. I tabellen nedan presenteras indata till simuleringen.

Effekttäkningsgrad	70 %
Energitäkningsgrad	97 %
COP (varierande över året)	3,1–3,5
Köldmedium	R410A
Isentropisk verkningsgrad	79 %

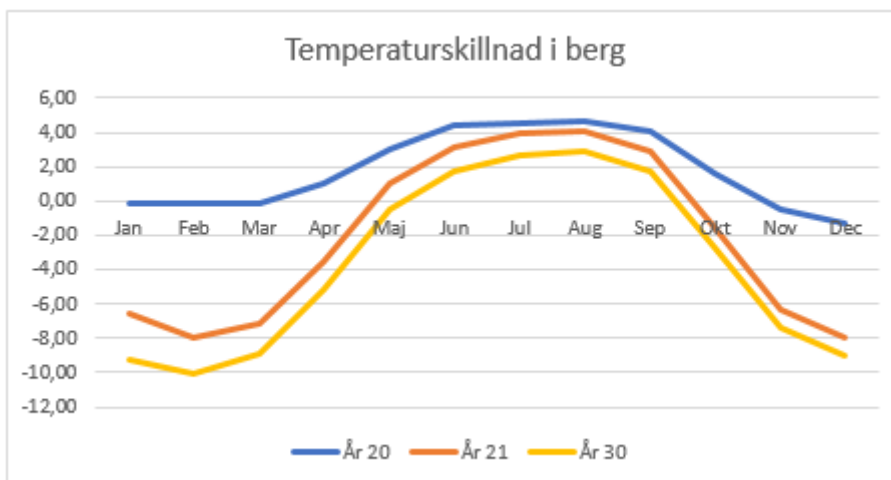
I denna simulering täcks värmebehovet för huset enligt fördelningen i tabellen nedan. I figur 12 redovisas den procentuella energifördelning och energifördelningen över året.

	Mer effektiv BVP	Jämförelse ursprunglig BVP
Energiuttag ur berg	13 900 kWh/år	↗
El till värmepump	6 300 kWh/år	↗
Elspets	1 200 kWh/år	↘



Figur 12. Energifördelning enligt simulering för en ny bergvärmepump med högre COP och högre effekt täckningsgrad.

När en mer effektiv bergvärmepump sätts in och ETG ökas till 70 % ökar energiuttaget ur berget med ca 88 %, jämfört med den befintliga bergvärmepumpen. Samtidigt ökar elbehovet till bergvärmepumpen, men behovet av spetsel minskar med 74 %. Ett större energiuttag ur berget leder dock till en drastisk sänkning av temperaturen i berget. I figur 13 nedan ses hur temperaturen i berget påverkas.



Figur 13. Temperaturskillnaden mellan köldbäraren upp ur berget och köldbäraren ner i borrhålet vid simulering av en ny bergvärmepump med högre COP och högre effekt täckningsgrad.

Totalt sjunker temperaturen med 1,5 °C mellan år 21 och år 30. Den lägsta temperaturen i berget är år 21 är -8,0 °C och år 30 som lägst -10,1°C, vilket kommer att påverka COP för bergvärmepumpen negativt. Risken finns att borrhålet fryser på samt att kompressorn jobbar med så låga temperaturer att COP blir så lågt som 1,6. Effektuttaget ur berget är som högst 41 W/lm.

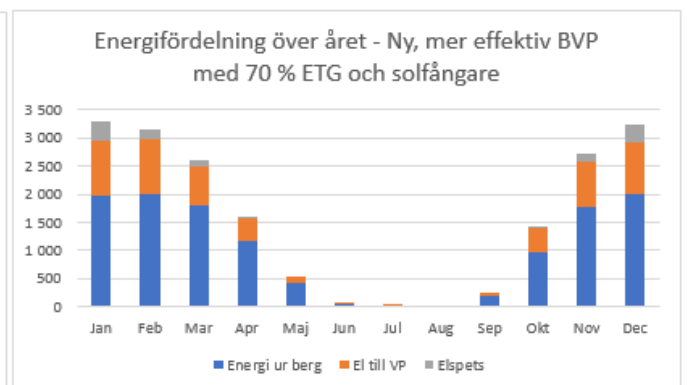
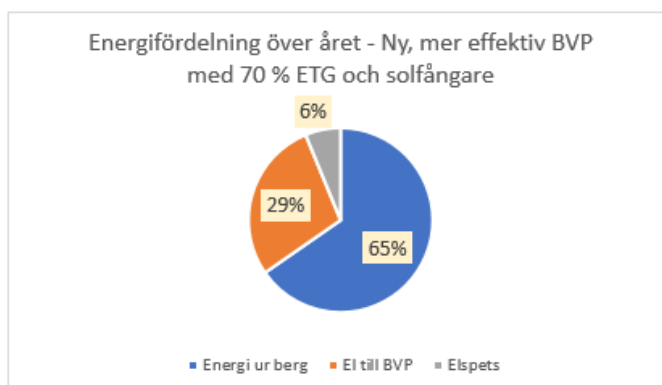
3.5 Utbyte till mer effektiv bergvärmepump med högre effekt täckningsgrad och med solfångare som komplement.

En möjlig lösning för att undvika påfrysning av borrhålet, men ändå behålla en hög effekt täckningsgrad är att komplettera med solfångare. I denna förstudie har detta simulerats med installation av 10 m² solfångare som i första hand värmer tappvarmvattnet, i andra hand förvärmer köldbäraren mellan borrhålet och värmepumpen och i tredje hand återladdar borrhålet. I tabellen nedan presenteras indata till simuleringen.

Effekt täckningsgrad	70 %
Energitäckningsgrad	97 %
COP (varierande över året)	3,1–3,5
Köldmedium	R410A
Isentropisk verkningsgrad	79 %
Solfångares bidrag tappvarmvatten	2 500 kWh/år

I denna simulering täcks värmebehovet för huset enligt fördelningen i tabellen nedan. I figur 14 ses den procentuella energifördelning och energifördelningen över året.

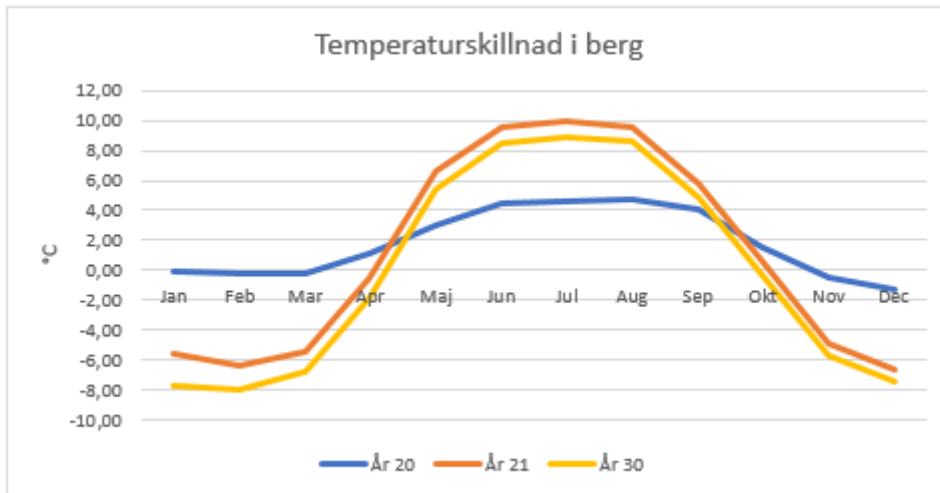
	Mer effektiv BVP	Jämförelse ursprunglig BVP
Energiuttag ur berg	12 400 kWh/år	↑
El till värmepump	5 400 kWh/år	↓
Elspets	1 200 kWh/år	↓



Figur 14. Energifördelning enligt simulering för en ny bergvärmepump med högre COP och högre effekt täckningsgrad, samt komplettering med solfångare.

Solfångaren täcker ca 68 % av tappvarmvattenbehovet. Mellan mars och september kan temperaturen på köldbäraren in till värmepumpen höjas med ca 10 grader, vilket höjer COP under perioden till 3,7–4,3 och därmed minskar elbehovet till värmepumpen. Återladdning av borrhålet bidrar med ca 2 MWh/år mellan april och september. Detta är under förutsättning att grundvattenflödet i borrhålet är lågt eller obefintligt. Effektuttaget ur berget är som högst 39 W/lm.

Komplettering av solfångare kan alltså bidra till att höja köldbärartemperaturen och COP, samt minska behovet av el till värmepumpen och elspets. Dock ligger belastningen på borrhålet kvar mellan oktober och mars, vilket motsvarar 66 % av energin för uppvärmning och tappvarmvatten. Detta ligger alltså utanför ramen av nyttan med temperaturhöjning. I figur 15 nedan visas hur ses hur temperaturen i berget påverkas.

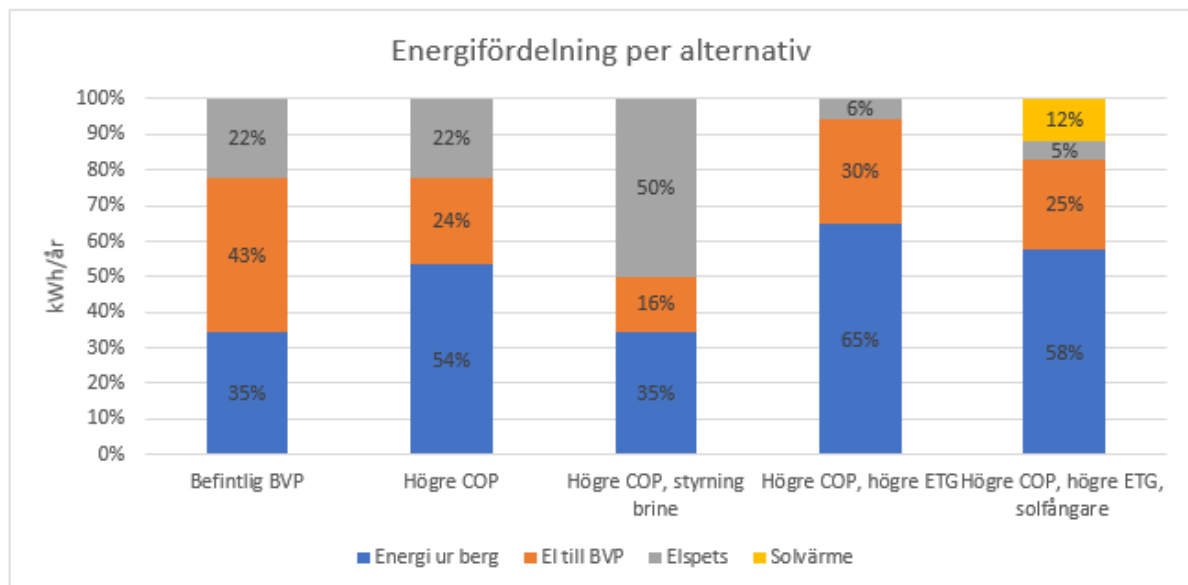


Figur 15. Temperaturskillnaden mellan köldbäraren upp ur berget och köldbäraren ner i borrhålet vid simulering av en ny bergvärmepump med högre COP och högre effekt täckningsgrad, samt komplettering med solfångare.

Totalt sjunker temperaturen med 1,2 °C mellan år 21 och år 30, vilket är en förbättring på 0,3 °C jämfört med utan kompletterande solpaneler. Den lägsta temperaturen i berget är -6,7 °C år 21 och -7,7°C år 30.

3.6 Jämförelse av alternativ

Simuleringarna visar att installation av en ny bergvärmepump med högre COP och högre effekt täckningsgrad kommer att avsevärt höja effektuttaget ur berget, och därmed påverkar temperaturer i berget och öka risken för påfrysning. Genom att komplettera med solfångare kan effektuttaget ur berget minska något. En lösning där värmepumpen styrs på temperaturen på köldbäraren minskar effektuttaget ur berget och även risken för påfrysning, men däremot ökar behovet av spetslast avsevärt då. I figur 16 presenteras fördelningen mellan energiflödena.

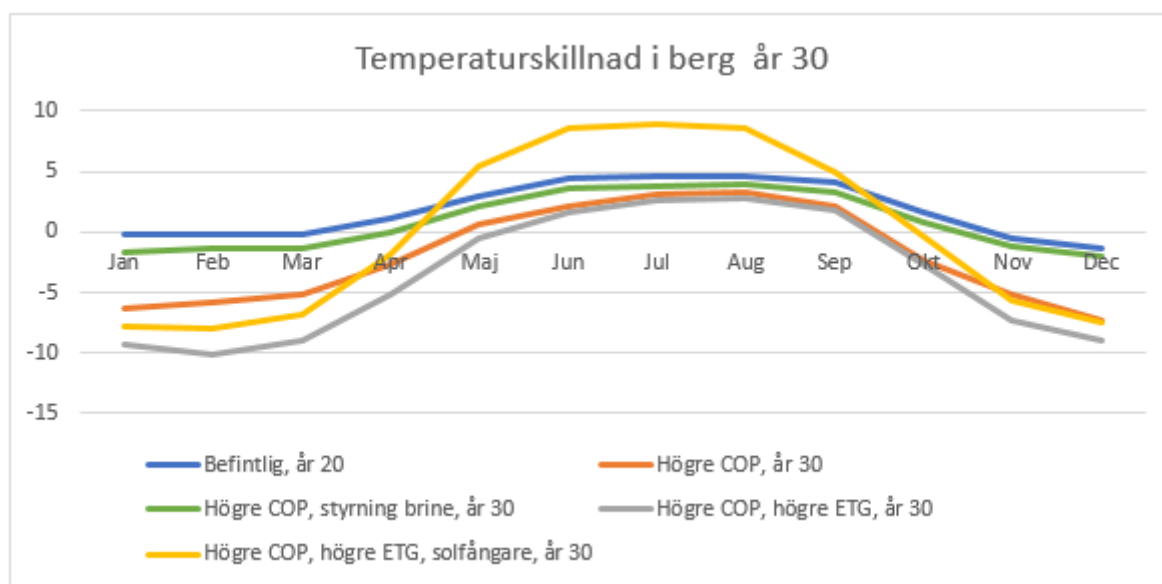


Figur 16. Jämförelse av energifördelningen för de simulerade alternativen.

I tabellen nedan ses en jämförelse av energiflöden, effektuttag och temperatursänkning för de olika alternativen.

	Befintlig bergvärmepump	Utbyte till mer effektiv bergvärmepump	Utbyte till mer effektiv bergvärmepump med styrning på köldbärartemperatur	Mer effektiv bergvärmepump med högre effekt täckningsgrad	Mer effektiv bergvärmepump med högre effekt täckningsgrad och med solfångare som komplement.
Energiuttag ur berg [kWh/år]	7 400	11 500	7 400	13 900	12 400
El till värmepump [kWh/år]	9 300	5 200	3 300	6 900	5 400
Elspets [kWh/år]	4 700	4 700	10 700	1 200	1 200
Max effektuttag/lm [W/lm]	21	35	21	41	39
Genomsnittlig temperatursänkning i berget mellan år 20 och år 30 (°C)	-	-3,7	-0,9	-5,5	-1,9

Med styrning på köldbärartemperaturen sparas borrhålet och temperatursänkningen kan hållas relativt låg. I figur 17 redovisas hur temperaturen i berget påverkas över året av de olika alternativen. I samtliga fall utan styrning på köldbärartemperaturen så kommer temperaturen i berget att sjunka till mellan -5 och -10 °C under vintern, men hinna återhämta sig och tina under sommarhalvåret.



Figur 17. Jämförelse av temperaturskillnaden i berget för de simulerade alternativen.

4 Intervjuer

Nedan presenteras information som framkommit vid de intervjuer som har genomförts inom förstudien.

4.1 Mitsubishi Electric, Anders Nilsson

Mitsubishi har traditionellt haft fokus på luft-luftvärmepumpar och har bara nyligen även börjat producera bergvärmepumpar. De är också leverantörer av kompressorer till andra bergvärmepumpsleverantörer.

Mitsubishi erbjuder en bergvärmepump för utbytesmarknaden som har adaptiv borrhålskontroll och automatiskt anpassar driften till det befintliga borrhålet för att minimera risken för frysning av borrhålet. Minimigränsen för temperaturen på köldbäraren från borrhålet är satt till -4 °C . Vid lägre temperaturer blir verkningsgrad på bergvärmepumpen låg. Om temperaturen understiger detta värde så larmar värmepumpen, och maxfrekvensen minskas. Vid nya installationer dimensioneras borrhålen vanligtvis för att kunna ge en köldbärartemperatur på minst $0\text{--}2\text{ °C}$.

På Mitsubishi har de inte testat någon lösning för att komplettera bergvärmeanläggningen med solenergi eller luftvärmepumpar. Anders tror inte att marknaden är mogen eller tillräckligt stor för att detta skulle få genomslag idag. Möjligtvis kommer de framöver att lägga in alternativet att förvärma köldbäraren innan värmepumpen i sina beräkningsprogram, för att kunna rekommendera det till de kunder som har borrhål med för låg kapacitet. Dock tror de inte att alternativet att återladda borrhålet kommer vara intressant.

De ser inte heller något behov av ett gemensamt utvecklingsprojekt kopplat till utbyte av bergvärmepumpar. Eventuellt skulle det vara intressant att samarbeta med SKVP för att ta fram ett enkelt webbverktyg där man kan räkna fram besparingen för olika typer av systemlösningar. De tycker också att det låter intressant med bergvärme och luft-vattenvärme i samma aggregat.

(Nilsson, 2019)

4.2 NIBE, Andreas Johnsson

NIBE erbjuder inverterstyrda värmepumpar som anpassar effektuttaget ur borrhålet om köldbärartemperaturen blir för låg, för att minska risken för överuttag av värme ur borrhålet. Med dessa värmepumpar kan man utnyttja befintlig värmekälla till max. När köldbärartemperaturen närmar sig ett bestämt värde bromsas värmepumpen i syfte att öka köldbärartemperaturen. Vid behov kompletteras uppvärmningen av en elpatron. Med denna styrning ser inte Andreas några stora problem vid utbyte av bergvärmepump till ett befintligt borrhål, de har inte fått någon återkoppling från marknaden om söndertryckta kollektorer eller påfrysning i borrhålen utöver det normala.

NIBE rekommenderar i första hand en inverterstyrd bergvärmepump vid byte av värmepump. I andra hand görs kompletterande borrhåll, och i sista hand kan de sätta in en frånluftsmodul som förvärmer köldbäraren innan värmepumpen eller återladdar borrhålet.

Andreas menar att återladdning av borrhål är ett komplext område, då det beror på borrhålets egenskaper. Återladdning med solvärme, som sker på sommaren, ger inte alltid effekt på ett väl fungerande borrhål men kan göra nytta i ett borrhål där man har kalla köldbärartemperaturer även in på sommaren. En frånluftsmodul å andra sidan höjer köldbärartemperaturen och avlastar borrhålet året runt och ger en säkrare drift av värmepumpen.

Ett intressant utvecklingsprojekt skulle kunna vara att utreda under vilka förutsättningar och vid vilka temperaturer en nedfusen kollektor orsakar problem.

(Johnsson, 2019)

4.3 Bosch, Markus Sundbrandt

Bosch säljer bergvärmepumpar framförallt på utbytesmarknaden. Vid byte av värmepump används oftast det befintliga borrhålet, då det är svårt att få ekonomi i en tilläggsborrning. Äldre borrhål är ofta 110–140 meter djupa och med en värmepump utan varvtalsstyrning och en installerade effekt på 9 kW. En ny bergvärmepump har ofta en installerad effekt på 9–12 kW, och normal borrhålslängd ligger på 180–200 meter.

Bosch värmepumpar använder så kallad brinemanagement control, som övervakar temperaturen på köldbäraren. Bosch rekommendation är att gå ner till minst -5 °C för att värmepumpen fortfarande ska gå bra och för att inte riskera påfrysning i borrhålet. Vid lägre temperatur fås sämre prestanda på värmepumpen.

Som regel täcks byggnadens effektbehov med värmepumpen så långt det går vid varje givet tillfälle, därefter används en elpatron för att täcka resterande värmebehov. Bosch har inte utrett möjligheten att sätta in elpatronen oftare vid lägre utetemperaturer, för att spara på borrhålets kapacitet till det riktigt kalla dagarna och minska behovet av spetsel vid effekttoppar. Värmepumparna styrs dock utifrån timpriset på el, men det är på dygnsbasis.

Bosch säljer tillbehör som kan komplettera bergvärmepumpen för att avlasta borrhålet. De har bland annat en frånluftsmodule som förvärmer köldbäraren innan värmepumpen. Detta används dock i ganska liten utsträckning, kanske ca 100 per år. Det bygger på att det finns ett ventilationssystem med mekanisk frånluft som kan användas. Bosch erbjuder även ett passivt kylsystem som kan återladda borrhålet. Markus tror dock att återladdningen från ett passivt kylsystem ger relativt liten effekt, speciellt i Sverige där vi idag endast har ett litet kylbehov i våra bostäder.

Markus ser att det vore intressant för slutkunden att veta när det lönsamt att borra extra och när det är bättre att arbeta med en styrd värmepump som anpassar effektuttaget efter borrhålets kapacitet eller att installera någon teknik för förvärmning/återladdning. Idag uppskattar Markus Sundbrandt att denna rekommendation endast görs efter ett överslag av installatörerna.

(Sundbrandt, 2019)

4.4 Thermia, Lars Finne

Thermia lanserade under hösten 2019 en ny bergvärmepump, Thermia Calibra, som är designad för utbytesmarknaden. Värmepumpen är inverterstyrd och har ett styrsystem som anpassar driften efter fastighetens värmebehov och befintliga borrhåls kapacitet. Systemet känner av hur mycket energi man kan hämta och ser till att borrhålets fulla potential utnyttjas. Systemet har även en smartgridfunktion, vilket innebär att elbolaget kan laststyra vid behov genom att skicka signaler till värmepumpen. För detta krävs att husägare och elleverantör kommer överens och att funktionen aktiveras.

Lars har inte hört från kunder att de har problem med tillfrysning av borrhålet. Han menar han att mycket av informationen om vilka olika lösningar som används, hur väl de fungerar, hur fördelningen mellan värmepumpsel och spetsel ser ut m.m. finns hos återförsäljarna.

Lars känner till flera av de lösningar som finns för att effektivisera driften och minska spetselen vid underdimensionerade borrhål. Thermia har idag ingen lösning för detta, och Lars Finne tycker att det är omdiskuterat hur stor effekt dessa lösningar egentligen ger.

(Finne, 2019)

4.5 Free Energy, Marcus Kanewoff

Det norska företaget Free Energy saluför ett energisystem för småhus och större fastigheter som kombinerar solvärme och bergvärme under namnet Hybrid Solar System, HYSS. Systemet dimensioneras för att täcka hela effektbehovet för värme och varmvatten och ger prioritet åt solvärme som används både för beredning av varmvatten och för att effektivisera bergvärmepumpen. Vid god tillgång på sol producerar solfångarna hett vatten som lagras i en ackumulatortank. Under vår och höst används solenergin för att effektivisera bergvärmepumpen genom att förvärma köldbäraren innan värmepumpen. Om solfångaren producerar mer energi än vad som behövs går värmen ner i borrhålet för att återladda det. Systemet har oftast en COP på 5–7, och kan ge ett halverat behov av elenergi i jämförelse med ett konventionellt bergvärmepumpsystem.

Free Energy har hittills levererat ca 150 villasystem på den nordiska marknaden. De äldsta anläggningarna har varit i drift under 5 till 6 år och inga större driftproblem har rapporterats. En anledning uppges vara att systemen är uppkopplade, så att driftsdata kan loggas och uppdateringar av programvara kan göras utan platsbesök. Marcus beskriver systemet som robust då både solenergi och bergvärmepumpar är väl beprövade tekniker.

Free Energy håller på att ta fram ett add-on koncept som innebär att solvärmetekniken som de använder kan användas även tillsammans med andra värmepumpsfabrikat, vilket skulle kunna ge tekniken större spridning.

Free Energy ser en potential för sitt system inte minst för plusenergihus, då ytan som krävs för solceller kan halveras jämfört med ett konventionellt bergvärmepumpsystem. Kostnaden för HYSS är ca 50 000 kr högre än för en vanlig bergvärmepump, vilket inkluderar kostnader för solfångarna och för installation. Enligt Marcus är detta billigare än att borra ett extra hål, varför systemet passar bra för utbytesmarknaden.

(Kanewoff, 2019)

5 Workshop om behov av fortsatt arbete

Den 9 december 2019 genomfördes en workshop med aktörer inom branschen för att föra en dialog om hur marknaden för utbyte av bergvärmepumpar ser ut, vilka utmaningar som finns med underdimensionerade borrhål samt vilket utvecklingsbehov som aktörerna ser.

Inbjudan skickades ut till branschorganisationer och -föreningar som SKVP, Geoenergicentrum, Varmt&Kallt och Avanti, till olika leverantörer av värmepumpar och värmepumpslösningar, till forskare inom området samt till borrhålsutförare. I bilaga 1 ses en deltagarlista.

Under workshopen presenterades den litteratursammanställning och de simuleringar som genomförts under förstudien. Därefter gavs möjlighet för deltagande leverantörer att presentera sina lösningar. Slutligen genomfördes en workshopdel där deltagarna förs fick reflektera själva över de utmaningar som finns med underdimensionerade borrhål och sedan i grupp fick diskutera möjliga lösningar på dessa problem samt om de såg behov av någon typ av marknadsutveckling.

Utmaningarna som framkom har kategoriserats till fyra rubriker, som redovisas nedan.

5.1 Påfrysning

Många uttryckte att det var angeläget att få en kartläggning genomförd över hur många borrhål som har problem med påfrysning. Det finns inte heller en samordnad tydlig definition för under vilka förutsättningar ett borrhål ska anses vara fryst, vid vilken punkt borrhålet är obrukbart från ett driftekonomiskt perspektiv samt ta fram anvisningar för vilken typ av återladdning som är optimal.

Frysning behöver inte vara något större problem om energi tillförs på sommaren. Återladdning av borrhål kan ske med hjälp av solvärme, solhybrider, frikyla då värme återförs till borrhålet när värmepumpen används för komfortkyla, uteluftkonvektorer och frånluftsvärmepump. Dock är det få leverantörer som tillhandahåller kombination av system för återladdning tillsammans med ny värmepump i befintliga borrhål.

5.2 Styrning

Värmepumparnas fulla kapacitet kan inte användas i befintliga borrhål utan att riskera påfrysning. Med den styrning på köldbärartemperatur som oftast används idag så avhjälpas problematiken med påfrysning i borrhål. Dock avhjälpas inte effektoppar trots nya värmepumpar, då styrningen för att avlasta borrhål leder till en ökad andel spetsvärme, vilket ökar topplasten de kallaste dagarna.

Det är viktigt att det finns en balans över året för effektuttagen och tillförd effekt i borrhål. Med utökad, smartare styrning som inkluderar fler parametrar kan man undvika stora behov av spetsel under de tillfällen då det finns kapacitetsbrist på elnätet genom att till exempel använda elspets vid andra tillfällen för att spara effektuttaget ur borrhålet till de kallaste dagarna. Det kan ske via smart styrning som inkluderar:

- effektstyrning av huset
- prognosstyrning
- styrning av temperatur i borrhål
- laststyrning
- AI-styrning där systemet lär sig hur effekt ska balanseras utifrån olika behov

Att styra på ett bra sätt för att tillgodose husets värmebehov utan att borrhålet fryser och utan att belasta elnätet vid effektoppar

5.3 Kommunikation

Kunskap och information om vilken lösning som är bäst lämpad och mest ekonomisk för en specifik situation och kund är idag bristfällig. Ofta sker en byte av värmepump när kundens befintliga värmepump gått sönder. Då är det bråttom att få till en fungerande lösning, och slutkunden är nöjd med en lösning som fungerar lika bra som den förra och är kanske inte alltid medveten om vilka olika alternativ som finns.

Det finns ett behov att både få fram bättre underlag och bättre möjlighet att kommunicera att det finns olika lösningar för hur befintliga borrhål kan hanteras utifrån husets effektbehov, värmepumpens verkningsgrad, styrning och ev. kombination med system för återladdning. Incitament måste lyftas fram både för leverantör och fastighetsägare för att få till en marknadsutveckling.

En tydligare jämförelse mellan de olika alternativens för- och nackdelar skulle medföra högre medvetenhet både hos slutkunden och installatören och göra den enklare för en villaägare att välja vilken lösning som är bäst på lång sikt.

5.4 Ansvar och juridik

När en ny bergvärmepump ska installeras i ett befintligt borrhål är det svårt att veta vem bär ansvaret för att ett befintligt borrhål ska fungera. Borrhålet kanske var feldimensionerat från början, och då är den nya installatören begränsad i hur mycket de kan fixa i efterhand. Det måste klargöras vem som är ansvarig för att befintliga borrhål ska fungera.

Framöver kommer det troligen att bli svårare att få tillstånd för nya borrhål. Framförallt i storstäder där marktomterna är små och det är tätt mellan grannars borrhål. Detta gör det än mer angeläget att hitta en lösning för att kunna utnyttja befintliga borrhål.

6 Identifierade behov

Nedan presenteras de behov som har identifierats inom området, framförallt utifrån vad som framkommit vid intervjuer och på workshopen.

6.1 Jämförelse mellan olika lösningar

Idag finns ett antal lösningar när bergvärmepumpar ska bytas ut till ett befintligt borrhål. Olika lösningar kan passa olika bra, beroende på t.ex. geologiska förutsättningar, husets värmebehov, bergets temperatur m.m. Kunskap och information om vilken lösning som är bäst lämpad och mest ekonomisk för en specifik situation är dock begränsad, både hos värmepumpstillverkare, -återförsäljare och hos slutkonsumenter.

Värmepumpsleverantörer förespråkar idag vanligtvis att styra på köldbärartemperaturen eller att tilläggsborra vid utbyte av bergvärmepumpar. Dock saknas det ofta underlag och tydlig information om när det är ekonomiskt motiverat att tilläggsborra, samt underlag för när andra lösningar skulle vara mer ekonomiska. Flera värmepumpstillverkare uttrycker ett behov av att ta fram bättre jämförelser mellan olika lösningar.

Det finns även ett behov hos slutkonsumenten att både få kunskap om att det finns olika lösningar och kunna jämföra de olika alternativens för- och nackdelar. Troligen finns också ett behov av kunskapshöjning hos installatörer och återförsäljare för att hjälpa slutkunden att göra denna jämförelse.

Det tycks också finnas ett kunskapsglapp mellan värmepumpsåterförsäljare och -tillverkare. Återförsäljarna är ofta de som får information och återkoppling från kunder om hur olika lösningar fungerar, men det är inte alltid detta når fram till tillverkarna och produktutvecklarna.

6.2 Incitament slutkunder

Kopplat till kunskapsbristen uppstår också en incitamentsbrist hos slutkunden. En bergvärmepump som är styrd på köldbärartemperaturen ger ofta samma funktion för slutkunden som funnits med den tidigare värmepumpen. Utan kunskap om vilka energi- och kostnadsbesparingar som skulle kunna uppnås med en annan typ av lösning så saknas incitamenten hos slutkunden att efterfråga andra lösningar.

6.3 Kunskap kring påfrysning

Under förstudien har det framkommit att kunskapen om påfrysning i borrhål behöver byggas upp. Det är allmänt accepterat inom branschen att underdimensionerade borrhål i kombination med utbyte till nya, mer effektiva värmepumpar med högre effektuttag påverkar temperaturen i berget negativt. Dock är det inte fastställt när temperaturerna blir för låga eller när det uppstår problem för värmepumpen. Det finns inte heller någon gemensam definition av vad som menas med påfrysning av ett borrhål, eller hur utbredd problematiken med detta är.

Problematiken ser troligen olika ut beroende på borrhålets läge i landet och olika geologiska förutsättningar.

6.4 Utvecklad styrning

Idag är en vanlig lösning vid byte av värmepump till ett underdimensionerat borrhål att styra värmepumpen på köldbärartemperaturen, för att inte ta ut för mycket effekt ur borrhålet. Detta

möjliggör att befintliga borrhål kan utnyttjas till max, utan att riskera att överbelasta borrhålet. Dock medför det ofta att mer spetsel behövs, framförallt vid de tillfällen då elnätet redan är hårt belastat.

Genom att utveckla styrningen av bergvärmepumpar för underdimensionerade borrhål till att även ta hänsyn till belastningen på elnätet skulle kanske spetsel kunna användas vid tillfällen då det finns hög kapacitet på elnätet för att spara borrhålet till de tillfällen då det uppstår kapacitetsbrist på elnätet.

Styrning av värmepumpar utifrån belastningen på elnätet finns det redan olika lösningar för på marknaden, men här finns ett behov av att utveckla och integrera de två typerna av styrning. Genom att styra efter båda dessa parametrar skulle vara möjligt att minska effektuttaget ur berget och spara på borrhålet samtidigt som spetsel i samband med effektoppar undviks.

7 Analys

7.1 Påfrysning av borrhål

I flera genomförda utredningar, och i simuleringarna från denna förstudie, framkommer att temperaturen i borrhålen och på köldbärarterperaturen sjunker avsevärt i samband med att en befintlig bergvärmepump byts ut till en mer effektiv variant som tar ut mer energi ur borrhålet. Detta ökar risken för påfrysning i borrhålet och att borrhålet slutar att fungera. Från workshopen framkommer dock att problematiken och utmaningarna kring påfrysning i borrhål behöver utredas ytterligare. Det är inte tydligt definierat vad som menas med påfrysning i ett borrhål, vid vilka temperaturer eller situationer påfrysning faktiskt blir ett problem eller hur utbrett problematiken är.

Flera lösningar har identifierats för att kunna utnyttja befintliga borrhål vid utbyte av bergvärmepump, utan att riskera påfrysning. Den vanligaste lösningen som används på marknaden idag är att styra värmepumpen på köldbärarterperaturen, så att effektuttaget ur borrhålet begränsas för att inte överbelasta borrhålet. Detta har visat sig minska risken för påfrysning i borrhålet avsevärt, och de värmepumpsleverantörer som erbjuder dessa typer av värmepumpar har inte fått någon återkoppling om problem med påfrysning. En annan lösning är att återladda borrhålet eller förvärma köldbäraren med en kompletterande värmekälla. Dessa lösningar har dock inte fått lika stort genomslag på marknaden än, och det finns viss osäkerhet hos värmepumpsleverantörerna om dessa lösningar är effektiva och ekonomiska lönsamma jämfört med att tilläggsborra eller styra på köldbärarterperaturen.

7.2 Värmepumpar styrda på köldbärarterperaturen

En vanlig lösning idag vid byte av värmepump till ett underdimensionerat borrhål att styra värmepumpen på köldbärarterperaturen. Värmepumpen anpassar effektuttaget ur borrhålet om köldbärarterperaturen blir för låg, för att minska risken för överuttag av värme ur borrhålet. Med denna styrning utnyttjas befintligt borrhål till max utan att riskera påfrysning. Vid behov kompletteras uppvärmningen av en elpatron.

Denna lösning har enligt erfarenhet från värmepumpsleverantörer fungerat bra för att undvika påfrysning av borrhål. Vanligtvis täcks byggnadens effektbehov med värmepumpen så långt det går vid varje givet tillfälle, därefter används en elpatron för att täcka resterande värmebehov. Detta leder till ett ökat behov av spetsel, ofta i samband med de kallaste dagarna och effekttoppar på elnätet.

Det finns värmepumpar som styrs på elpriset, men då oftast på dygnsbasis för att undvika effekttoppar över dygnet.

7.3 Effektbehov

Från enkätstudien PULSEN 2018 framgår att SKVP:s medlemmar rekommenderar att borra en kompletterande eller en ny energibrunn vid ungefär hälften av fallen när en bergvärmepump byts ut. I ungefär en fjärdedel av fallen anpassas värmepumpen efter borrhålet, oftast med motiveringen att kunden inte vill bekosta att tilläggsborra och att de är nöjda med sin energianvändning. I en femtedel av fallen sätts en heltäckande värmepump in, som kan täcka husets effektbehov, med inställningen att man testat och ser om borrhålet klarar det och tilläggsborrar senare vid behov.

I en fjärdedel av fallen har man alltså medvetet valt att sätta in en värmepump som är anpassad efter borrhålets kapacitet och inte täcker husets effektbehov, utan huset är beroende av spetsel de kallaste dagarna. Detta skapar både ökade kostnader för slutkunden, då elen oftast är dyrast de kallaste dagarna, samt en extra belastning på elnätet under de dagar och timmar när elnätet redan är hårt belastat.

7.4 Återladdning av borrhål och förvärmning av köldbärartemperatur

Det finns olika alternativ för att effektivisera utnyttjandet av ett befintligt borrhål genom att återladda borrhålet och/eller förvärma köldbäraren. Ett par värmepumpsleverantörer har en tilläggsprodukt i form av en frånluftsmodul som kompletterar bergvärmepumpen. Denna rekommenderas dock inte i någon större utsträckning, utan det är vanligare att värmepumpen styrs på köldbärartemperaturen. Ett annat alternativ som erbjuds av vissa värmepumpsleverantörer är ett passivt kylsystem som kan återladda borrhålet med frikyla. En tredje lösning som finns tillgänglig på marknaden är att komplettera bergvärmepumpen med en solvärmeanläggning. I denna förstudie har två olika lösningar identifierats på marknaden, de beskrivs närmare i stycket 7.4.1.

Det finns dock en viss skepticism hos värmepumpsleverantörerna kring hur effektivt ovan nämnda lösningar återladdar borrhålen och hur applicerbara och lönsamma de är. Förvärmning av köldbärartemperaturen ses som ett mer intressant alternativ, men även där finns frågetecken kring om marknaden är mogen för en sådan lösning.

7.4.1 Komplettering med solvärme

Två leverantörer för komplettering med solvärme har identifierats inom denna förstudie.

Free Energys lösning HYSS innebär använder värme från solfångare för att värma upp varmvattnet i första hand, i andra hand förvärma köldbäraren och i tredje hand återladda borrhålet. Detta bidrar till en högre SCOP än konventionella bergvärmesystem och ökar prestandan i ett befintligt borrhål. De håller på att ta fram ett add-on koncept som innebär att solvärmetekniken som de använder kan användas även tillsammans med andra värmepumpsfabrikat, vilket skulle kunna ge tekniken större spridning.

Samster AB har utvecklat en solhybrid som kombinerar solelproduktion och solvärme med en bergvärmepump. Genom att leda köldmediet från värmepumpens kalla sida genom solpanelens termiska baksida så kyls solpanelerna ner och köldmediet tar upp överskottsvärmen. Energin från solpanelen leds sedan ned i borrhålet. Detta ger både en bättre prestanda och en längre livslängd på både solpanelen och värmepumpen. Dessutom återladdas borrhålet och minskar risken för att borrhålet blir för kallt.

Båda dessa system bedöms kosta ca 60 000 – 80 000 kr för att komplettera en bergvärmepump, och bedöms av leverantörerna vara en ekonomisk lösning vid underdimensionerade borrhål jämfört med att tilläggsborra

8 Slutsatser och förslag till fortsatt arbete

8.1 Slutsatser

I flera genomförda utredningar och i simuleringarna från denna förstudie, framkommer tydligt att temperaturen i borrhålen och på köldbärarterperaturen sjunker avsevärt i samband med att en befintlig bergvärmepump byts ut till en mer effektiv variant som tar ut mer energi ur borrhålet. Detta ökar risken för påfrysning i borrhålet och att borrhålet slutar att fungera. Dock behöver problematiken och utmaningarna kring påfrysning i borrhål utredas ytterligare. Det är inte tydligt definierat vad som menas med påfrysning i ett borrhål, vid vilka temperaturer eller situationer påfrysning faktiskt blir ett problem eller hur utbrett problematiken är.

Flera lösningar har identifierats för att kunna utnyttja befintliga borrhål vid utbyte av bergvärmepump, utan att riskera påfrysning. Den vanligaste lösningen som används på marknaden idag är att styra värmepumpen på köldbärarterperaturen, så att effektuttaget ur borrhålet begränsas för att inte överbelasta borrhålet. Detta har visat sig minska risken för påfrysning i borrhålet avsevärt. Dock ökar mängden spetsel med denna lösning, ofta vid tillfällena när det redan råder kapacitetsbrist på elnätet. Detta leder till både ökad belastning på nätet och troligen också ökade elkostnaden för slutkunden.

En annan lösning är att effektivisera utnyttjandet av ett befintligt borrhål genom att komplettera med en annan värmekälla för att återladda borrhålet och/eller förvärma köldbäraren. Det finns olika lösningar för detta. Ett par värmepumpsleverantörer har en tilläggsprodukt i form av en frånluftsmodul som kompletterar bergvärmepumpen. Denna rekommenderas dock inte i någon större utsträckning, utan det är vanligare att värmepumpen styrs på köldbärarterperaturen. Ett annat alternativ som erbjuds av vissa värmepumpsleverantörer är ett passivt kylsystem som kan återladda borrhålet med frikyla. En ytterligare lösning som finns tillgänglig på marknaden är att komplettera bergvärmepumpen med en solvärmeanläggning.

Två leverantörer för komplettering med solvärme har identifierats inom denna förstudie. Free Energys lösning HYSS innebär använder värme från solfångare för att värma upp varmvattnet i första hand, i andra hand förvärma köldbäraren och i tredje hand återladda borrhålet. Detta bidrar till en högre SCOP än konventionella bergvärmesystem och ökar prestandan i ett befintligt borrhål. De håller på att ta fram ett add-on koncept som innebär att solvärmetekniken som de använder kan användas även tillsammans med andra värmepumpsfabrikat, vilket skulle kunna ge tekniken större spridning. Samster AB har utvecklat en solhybrid som kombinerar solelproduktion och solvärme med en bergvärmepump. Genom att leda köldmediet från värmepumpens kalla sida genom solpanelens termiska baksida så kyls solpanelerna ner och köldmediet tar upp överskottsvärmen. Energin från solpanelen leds ned i borrhålet. Detta ger både en bättre prestanda och en längre livslängd på både solpanelen och värmepumpen. Dessutom återladdas borrhålet och minskar risken för att borrhålet blir för kallt.

Lösningar för att förvärma köldbärarterperaturen och/eller återladda borrhålet har inte fått stort genomslag på marknaden än. Från intervjuerna och workshopen framkommer det också flera värmepumpsleverantörer upplever en viss osäkerhet om hur effektiva och ekonomiskt lönsamma dessa lösningar är jämfört med att tilläggsborra eller styra på köldbärarterperaturen.

Det finns ett behov av att öka kunskapen om vilken lösning som är bäst lämpad och mest ekonomisk för en specifik situation, både hos värmepumpstillverkare, -återförsäljare och hos slutkonsumenter. Många slutkunder är idag nöjda med att få en ny värmepump som är lika bra som den förra, utan att känna till att det kan finnas andra alternativ som kan vara mer lönsamma på lång sikt. Även flera värmepumpstillverkare uttrycker ett behov av att ta fram bättre jämförelser mellan olika lösningar, för att bättre kunna hjälpa sina kunder välja rätt lösning.

8.2 Förslag till fortsatt arbete

Förslag till fortsatt arbete är att undersöka om installatörer kan involveras i pilotprojekt liksom att utreda hur kunskapsdelning mellan installatörer, värmepumpsleverantörer – och teknikleverantörer skulle kunna ske kontinuerligt. Nedan följer förslag till innehåll i ett projekt, som bygger på denna förstudie.

8.2.1 *Kartläggning av borrhål.*

För att identifiera marknadens utvecklingsbehov behöver problematiken kring påfrysning av borrhål utredas ytterligare. En kartläggning av underdimensionerade borrhål, vilka problem som identifierats vid olika bergtemperaturer samt hur utrett detta problem är behöver fastställas. Utifrån detta bör en tydlig definition tas fram på vad som kan klassas som ett fryst borrhål.

8.2.2 *Jämförelse mellan olika lösningar*

En fortsättning på denna förstudie är identifierad till att ta fram en oberoende jämförelse av olika systemlösningar för underdimensionerade borrhål. Denna skulle kunna innehålla en sammanställning av för och nackdelar, inklusive LCC-beräkning, där värmepumpar i befintliga borrhål kombineras med till exempel följande tekniker:

- Minska husets effektbehov
- Oglasad solvärme
- Glasad solvärme
- Solhybrid
- Uteluftkonvektor
- Frånluftvärmepumpar
- Frikyla
- Borrhålsbooster

En ytterligare möjlighet är att ta fram ett webbaserat verktyg där konsumenterna själva kan ange indata för sitt borrhål och sitt hus, och få en jämförelse mellan olika lösningar utifrån deras specifika förutsättningar. Detta kan även länkas samman med MinHusguide som ger råd till villaägare om renovering och energieffektivisering.

Ett större projekt skulle även kunna inkludera att i demonstrationsprojekt testa olika lösningar i jämförbara småhus för att få kunskap om hur borrhålet samt husets och elnätets effektbalans påverkas av olika lösningar.

8.2.3 *Utreda ansvarsfördelning och garantier vid samarbete mellan värmepumpsleverantörer och andra teknikleverantörer*

Idag är det oklart vem som står ansvarig om fel uppstår. Ett framtagande av anvisningar för hur ansvar fördelas samt hur garantier för kombinationslösningar kan se ut skulle kunna undanröja det problemet.

8.2.4 *Lyfta incitament som leder till ökat samarbete mellan värmepumpsleverantörer och andra teknikleverantörer*

Utifrån jämförelser av lösningar lyfts incitament som leder till att villaägare efterfrågar lösningar där värmepumpen kombineras med teknik för att förvärma köldbäraren eller återladda borrhålet. Det skapar incitament för värmepumpsleverantörer och teknikleverantörer att upprätta ett närmare samarbete.

8.2.5 Utvecklad styrning

Idag är en vanlig lösning vid byte av värmepump till ett underdimensionerat borrhål att styra värmepumpen på köldbärartemperaturen, för att inte ta ut för mycket effekt ur borrhålet. Detta görs ofta utan hänsyn till effekttoppar.

Det finns annan typ av styrning för värmepumpar som istället styr efter belastningen på elnätet, och undviker att använda el vid effekttoppar. Genom att styra efter båda dessa parametrar skulle det gå att minska effektuttaget ur berget och spara på borrhålet samtidigt som spetsel i samband med effekttoppar undviks.

9 Litteraturförteckning

- Alvehag, K. e. (2016). *Åtgärder för ökad efterfrågeflexibilitet i det svenska elsystemet. Ei R2016:15.* Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Axelsson, E. e. (Sept 2018). *Värmepumpars påverkan på effektbalansen - idag och i framtiden.* Göteborg: Profu.
- Axelsson, E., Blomqvist, P., & Unger, T. (2018). *Värmepumpars påverkan på effektbalansen - idag och i framtiden.* Göteborg: Profus i Göteborg AB.
- Björk, E., Acuña, J., Granryd, E., Mogensen, P., Nowacki, J., Palm, B., & Weber, K. (2013). *Bergvärme på djupet. Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar.* Stockholm: KTH.
- Energimarknadsinspektionen. (den 23 09 2019). *Presentation 10 september 2019.* Hämtat från Energimarknadsinspektionen: ei.se
- Energimarknadsinspektionen. (2019). *Ren energipaketet - en sammanfattning av nya och ändrade bestämmelser i elmarknadsförordningen och elmarknadsdierktivet.* Energimarknadsinspektionen.
- Energimarknadsinspektionen. (den 24 10 2019). *Tariffutformning för ett effektivt utnyttjande av elnätet.* Hämtat från Energimarknadsinspektionen: <https://www.ei.se/sv/Projekt/Projekt/tariffutformning-for-ett-effektivt-utnyttjande-av-elnatet/>
- Energimyndigheten. (u.d.). *Den svenska energistatistiken. Småhus 2017.*
- Finne, L. (den 04 12 2019). *Ansvarig utveckling av styrfunktioner.* (M. Bratt, Intervjuare)
- Fossilfritt Sverige. (2018). *Färdplan för fossilfri uppvärmningssektor.* Stockholm: Fossilfritt Sverige. Hämtat från Energiföretagen.
- Gervind, P., Bensson, J., Jardeby, Å., & Nordman, R. (2016). *Solhybrid och bergvärme - Förnybart med ny systemlösning.* SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Johnsson, A. (den 23 10 2019). *Product Manager, Nibe.* (S. Borgström, Intervjuare)
- Kanewoff, M. (den 16 10 2019). *CEO Free Energy Sverige AB.* (K. Landfors, Intervjuare)
- Kjellson, E. (2004). *Solvärme i bostäder med analys av kombinationen solfångare och bergvärmepump, Licentiatsrapport.* Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Mikael Erlström, C. M. (2016). *Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt.* Uppsala: SGU.
- Mitsubishi. (u.d.). <https://mitsubishivillavarme.se/varmepump/geodan/> Hämtat 2019-10-21.
- Nilsson, A. (den 29 10 2019). *Produktchef .* (S. Borgström, Intervjuare)
- Nyholm, E. e. (2016). *Demand response potential of electrical space heating in Swedish single-family dwellings. Building and Environment, 270-282.*
- Regeringen. (den 24 10 2019). *Uppdrag till Energimarknadsinspektionen om kapacitetsbrist i elnäten.* Hämtat från Regeringen: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2019/10/uppdrag-till-energimarknadsinspektionen-om-kapacitetsbrist-i-elneten/>
- Ruud, S. (den 23 09 2019). *RISE.* (S. Borgström, Intervjuare)
- Samster. (den 14 11 2019). Hämtat från Samster : <https://www.samster.se>

- Stare, J., & Joachim, C. (2014). *Bergvärm komninerat med uteluftkonvektor*. Stockholm: KTH Energiteknik.
- Sundbrandt, M. (den 24 10 2019). Avdelningschef Produktutveckling Bergvärme. (S. Borgström, Intervjuare)
- Svenska Kraftnät. (den 04 10 2019). *Elmarknadshubben*. Hämtat från Svenska Kraftnät:
<https://www.svk.se/hubb>
- Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningen. (den 16 10 2019). *PULSEN 2018*. Hämtat från
<https://skvp.se/aktuellt-o-opinion/statistik/pulsen/2018>
- Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningen. (den 19 12 2019). *PULSEN 2019*. Hämtat från
<https://skvp.se/aktuellt-o-opinion/statistik/pulsen/2019>
- Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningen. (den 16 10 2019). *Värmepumpsförsäljning*. Hämtat från
<https://skvp.se/aktuellt-o-opinion/statistik/varmepumpsforsaljning>
- Thermia Värmepumpar. (den 21 10 2019). *Thermia lanserar Utbytespumpen*. Hämtat från
<https://www.thermia.se/nyheter/pressmeddelande-thermia-lanserar-utbytespumpen/>

10 Bilagor

10.1 Bilaga 1 – Deltagare workshop

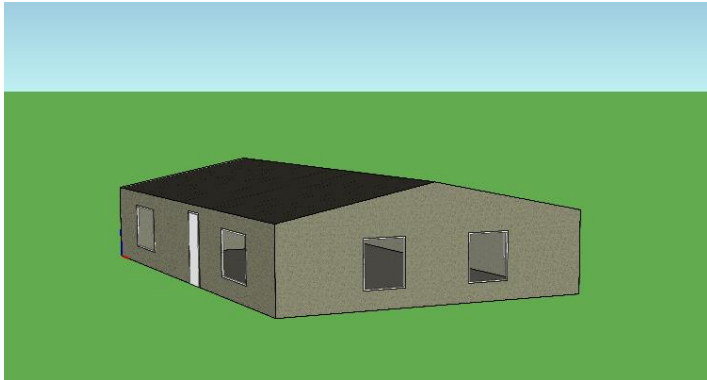
Enertech AB	Anny Osbäck
Enertech AB	Kent Karlsson
Free Energy	Marcus Kanewoff
KTH	Joachim Claesson
Mitsubishi	Ola Prahl
Ngenic	Björn Berg
RISE	Tommy Walfridson
Samster AB	Andreas Persson
SKVP	Morgan Willis
SKVP	Jan-Erik Nowacki
Thermia	Erik Olsson
WSP	Margot Bratt
WSP	Katarina Westerbjörk

10.2 Bilaga 2 – Typhus för simulering

Typ av byggnad Villa
 A_{temp} 160 m²
Fönsterandel 15%
Ort Stockholm

Effektbehov 8 kW

Energibehov
Uppvärmning 17 700 kWh/år
Tappvarmvatten 3 700 MWh/år



Via en enklare simuleringsmodell för huset har effektbehov och energitäckningsgrader för värmepump för olika scenarier beräknats.

