



CHALMERS



Utvärdering och analys av värmeförsörjningssystem

En fallstudie om Kv. Skogsvaktaren.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Alma Engman
Tindra Björnarås Gardelund

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Utvärdering och analys av värmeförsörjningssystem:

En fallstudie av Kv. Skogsvaktaren

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ALMA ENGMAN

TINDRA BJÖRNARÅS GARDELUND

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Utvärdering och analys av värmeförsörjningssystem:

En fallstudie av Kv. Skogsvaktaren

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ALMA ENGMAN

TINDRA BJÖRNARÅS GARDELUND

© ALMA ENGMAN & TINDRA BJÖRNARÅS GARDELUND, 2024

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bild över Kv. Skogsvaktaren i Mölnlycke. Källa: Wallenstam AB.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2024

Utvärdering och analys av värmeförsörjningssystem:

En fallstudie av Kv. Skogsvaktaren

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

ALMA ENGMAN

TINDRA BJÖRNARÅS GARDELUND

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I takt med ökande klimatförändringar ställs allt hårdare krav på fastighetsbranschen. Ett centralt begrepp som går i linje med omställningen till ett hållbart samhälle är energieffektivitet. I examensarbetet genomförs en energiuppföljning av ett värmeförsörjningssystem för två nybyggda flerbostadshus i Mölnlycke. Systemet består bland annat av bergvärme, fjärrvärme, solhybrider och ett kylbatteri. Dessa komponenter samverkar för husens behov av rumsuppvärmning och tappvatten. Solhybriderna och kylbatteriet syftar även till att återladda borrhålslagret. Inflyttning skedde i april 2023. Värmeförsörjningssystemet har i arbetet utretts under perioden maj 2023 – januari 2024. Orsaker till skillnader i utfall mot projektering har undersökts och utifrån dessa skillnader presenteras förbättringsåtgärder avseende energieffektivitet.

Det som undersökts är återladdning av borrhålslagret samt energianvändningen i husen och dess fördelning. Resultatet av husens energianvändning stämde bra överens med projekteringen, medan utfallet för solhybriderna och kylbatteriets återladdning visade sig vara låg i jämförelse mot projekteringen. En felkälla till detta är att borrhålen inte blivit tillräckligt belastade och nedkylda efter första driftåret för att återladdningen skall behövas i den utsträckning som projekteringen visar. Förslag på åtgärder för att öka återladdningen har därför presenterats i examensarbetet.

Åtgärderna som diskuteras berör främst återladdningen. Bland annat föreslås en ändring av styrningen på solhybridernas pumpar och att en prioriteringsordning mellan kylbatteri och solhybrider görs för ökad optimering. Förslag på framtida åtgärder har presenterats som generella råd för liknande system. Examensarbetet har landat i slutsatsen att det finns åtgärder att implementera i dagsläget. Det krävs att uppföljningar på byggnaders värmesystem görs någorlunda regelbundet för att säkerställa att de krav som ställts vid projektering erhålls även efter byggnaden tagits i drift. För att en förväntad energieffektivitet ska uppfyllas krävs det kontinuerlig uppföljning av drift och styrning för att säkerställa önskat resultat.

Nyckelord: Energiuppföljning, borrhål, återladdning, solhybrider, energianvändning, EED

Evaluation and analysis of heating supply system:

A case study of Kv. Skogsvaktaren

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

ALMA ENGMAN

TINDRA BJÖRNARÅS GARDELUND

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Requirements put on the real estate industry are steadily growing as the threats towards the climate increases. A central concept which aligns with this development is energy efficiency. The thesis of this report is based on an energy follow-up of two newly produced buildings in Mölnlycke. The heating system that will be evaluated consists of district heating, ground source heat, photovoltaic and thermal solar panels (PVT) and a cooling battery. Together, these components ensure that the heating and tap water demand is ensured while also recharging the boreholes. Both houses were fully occupied by residents in the end of April 2023. The purpose of the thesis is to evaluate the system during the period of May 2023 – April 2024. If there are significant differences between the outcome of the examined period and the projected outcome, reasons for this will be investigated. Based on this, suggestions of improvements with regards to energy efficiency will be made.

What has been investigated is the recharge of the borehole thermal energy storage (BTES) and the energy use and its distribution. In terms of energy use, the predicted outcome and actual outcome is quite similar. However, in terms of recharge from the PVT-panels and cooling battery the result showed that the expected values were higher than what was measured. In addition, it's important to add that the boreholes haven't been used enough to cool them down which affects how much energy the PVT can generate.

The improvements are directed towards increasing the recharge of the BTES, mainly focused on changing the maneuver of the PVTs. It's also suggested that a priority between the PVTs and cooling battery should be established. Suggestions for future measurements have been presented as general advice on similar systems. The conclusion of the thesis is that there are measurements that can be applied to the system considering the current situation the system is in. In addition to this, it's necessary that follow-ups on the heating systems of buildings are carried out regularly. This is to ensure that the requirements set in the design are met even after the building has been put into operation. For expected energy efficiency to be met, continuous follow-up of operations and control is required to ensure the desired results.

Key words: Energy monitoring, borehole, recharge, solar hybrids, energy usage, EED.

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
BEGREPP	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Metod	4
2 TEORI	5
2.1 Bergvärme	5
2.2 Solhybrider (PVT, PhotoVoltaic Thermal)	9
2.3 Fjärrvärme	10
2.4 VVC	10
2.5 Ackumulatortank	10
2.6 EED – program	11
2.7 Energiuppföljning av byggnad	11
3 KV. SKOGSVAKTAREN / STUDERAD BYGGNAD	13
3.1 Bakgrund	14
3.2 Systemuppbyggnad	15
4 PROJEKTERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	18
4.1 Värmesystemet	18
4.2 Skillnader i projektering mot utfall	18
4.3 Projektering av solhybrider	19
4.4 Projektering av borrhålslager	20
5 BERÄKNINGAR	22
5.1 Tillförlitlighet av data	22
5.2 Normalårskorrigerig med energiindex	22
6 RESULTAT	27

6.1	Beräkning av SCOP	27
6.2	Jämförelse av solhybrider och projektering	28
6.3	Återladdning och borrhålslager	30
6.3.1	EED-beräkningar	34
6.4	Jämförelse av energianvändning & dess fördelning	36
6.5	Procentuell fördelning av värmesystem	38
7	FÖRSLAG PÅ ÅTGÄRDER	42
7.1	Sammanfattning av resultat	42
7.2	Aktuella åtgärder	43
7.3	Framtida åtgärder vid behov	44
8	DISKUSSION OCH FELKÄLLOR	45
8.1	Felkällor	45
8.2	Kv. Skogsvaktarens energianvändning	46
8.3	Återladdning av borrhålslager	46
9	SLUTSATS	49
9.1	Vidare studier	49
10	LITTERATURFÖRTECKNING	50
10.1	Tabellförteckning	52
10.2	Figurförteckning	53
10.3	Diagramförteckningar	53
11	APPENDIX	55
11.1	EED konfiguration av borrhålens placering	55
11.2	Graddagskorrigeringsmetod av uppmätt period jämfört med projektering.	56
11.3	Jämförelse av normalårskorrigeringsmetoder.	57
11.4	Flödesschema, kalla sidan	58
11.5	Flödesschema, varma sidan	59

Förord

Detta examensarbete har genomförts på institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik på avdelningen installationsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola. Författarna studerar till högskoleingenjörer på samhällsbyggnadsteknikprogrammet. Under vårterminen 2024 har arbetet utförts med en omfattning på 15 högskolepoäng. Sammantaget har arbetet motsvarat 20 veckors halvtidsarbete med en summering på ca 620 timmar totalt.

Arbetets idé startade efter konversationer med Wikström AB. Författarna ville båda fördjupa sig i värmesystem och energi i byggnader och kom i samråd med Wikström fram till relevanta frågeställningar. Genom inblick i Wallenstams flerbostadshus Kv. Skogsvaktaren i Mölnlycke gavs en möjlighet till fördjupning i ett avancerat värmesystem. Under arbetets gång har en tidsplan satts upp med olika delmål samt en tidsloggbok för de timmar som lagts ner på arbetet.

Vi vill börja med att tacka både vår handledare och examinator på Chalmers, Torbjörn Lindholm och Anders Trüschel, för er handledning och goda råd under examensarbetets gång. Vi vill även rikta ett extra stort tack till vår handledare Hannes Andersson på Wikström AB som funnits till hands för diskussioner och alla våra frågor. Även till Mats Nyberg för sin expertkunskap inom borrhålslager och EED-beräkningar samt till Anders Ögärd som hjälpt oss med normalårskorrigeringar och indata till dessa. Vi vill även tacka Kent Svanholm, Wallenstam AB, som gett oss ingående information om projektets bakgrund samt tillgång till Wallenstams egna styrtjänster, Webport och Curves, som möjliggjort datainsamlingar för det undersökta projektet.

Vi vill slutligen tacka Torsten Janssons stiftelsefond som gav oss medel att kunna genomföra en introduktionskurs i Earth Energy Designer (EED) programmet. Denna kunskap möjliggjorde kompletterande beräkningar till examensarbetet.

Göteborg juni 2024
Alma Engman
Tindra Björnarås Gardelund

Beteckningar

AMA	Allmän material- och arbetsbeskrivning
BED	Boverkets föreskrift för Energideklaration för byggnader
BEN	Boverkets föreskrift för fastställande av byggnaders energianvändning vid ett normalår
BBR	Boverkets byggregler
COP	Coefficient of Performance, godhetstal för värmepump/kylmaskin
EED	Earth Energy Designer
LCA	Livscykelanalys
KV	Kallvatten
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
TVV	Tappvarmvatten
VVC	Varmvattencirkulation
VV	Varmvatten

Begrepp

Aktivt borrhålsdjup	Den del av borrhålen där värme kan hämtas till systemet.
A-temp	Invändig area som värms <10 grader eller mer. Innefattar innerväggar, schakt, golv samt öppningar.
Energibrunnar	Borrhål till bergvärmepumpar.
Köldbärare	Frys skyddad vätska som cirkulerar runt i borrhålen för värmeöverföring.
Köldmedium	Ämne som används i bergvärmepumpar för att transportera värme.
Återladdning	Värme som återförs till borrhålslager.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det blir allt vanligare att man talar om energieffektivisering och klimatdeklarationer för byggnader. Med tanke på det ökade hotet mot klimatet med höjda temperaturer och stigande havsnivåer krävs klimatförbättrande förändringar i hela samhället.

2015 antog Sverige 2030-agendan mot en omställning för hållbar utveckling. 2030-agendan består av 17 globala mål med 169 delmål (Regeringskansliet, 2016). Dessa mål är tänkta att leda utvecklingen i rätt riktning. FN påbörjade arbetet med att ta fram 2030-agendan år 2012. Alla medlemsländerna har åtagit sig agendan och med både globala och nationella mål skall länderna samarbeta för att främja hållbar utveckling och utrota global fattigdom (Svenska FN-förbundet, u.d.). Genom att arbeta med de tre dimensionerna av hållbar utveckling, den ekonomiska, miljömässiga samt sociala delen.

Det globala målet 7, hållbar energi för alla, har ett delmål (7.3) som handlar om att fördubbla den globala förbättringstakten av energieffektivitet. Sverige har själva satt mål där energianvändningen 2030 ska vara 50% effektivare jämfört med 2005 genom minskad energiintensitet (Energimyndigheten, 2023). Sett till fastighetsbranschen så skärps kraven på energieffektivitet i samband med de lagkrav och mål som regeringen satt. Från och med den 1 januari 2022 tillträdde en ny lag, vid nybyggnation ska en klimatdeklaration över byggnaden utföras (Boverket, 2021). En klimatdeklaration har till uppgift att redovisa klimatpåverkan från byggskedets olika delar installationsprocessen (Boverket, 2023). Boverket hänvisar till skärptare krav år 2027 där även gränsvärden skall införas. Dessa gränsvärden är tänkt att reducera 20–30% av klimatutsläppen jämfört med ett referensvärde som tas fram med hjälp av klimatberäkningar i en studie utförd av Boverket. I samband med denna utveckling så börjar miljöcertifieringar och utmärkelser bli allt vanligare att sträva efter vid nyproduktion. Byggherren och fastighetsägare vill satsa mer på att byggnaden skall uppnå dessa krav och utmärkelser för att bli mer attraktiva för hyresgästerna. Idag är miljömedvetenheten stark i samhället och kunder ställare hårdare krav på allt de konsumerar, inte minst deras bostäder. För att hänga med i denna omställning finns det olika miljöcertifieringssystem för byggnader. Certifieringssystemet Miljöbyggnad är ett av de vanligare och för att uppnå certifiering krävs bland annat en LCA-beräkning av miljöpåverkan för byggnaden. En LCA-analys är en livscykelanalys där klimatpåverkan skall redovisas för livscykelmodul A1-A5 vilket motsvarar byggskedet (Boverket, 2019).

Att bygga energieffektiva byggnader är inte endast till för att uppnå miljöcertifieringar och uppfylla lagkrav. Det spelar även en stor roll för ekonomin under byggnadens livstid. I samband med de stigande priserna för alla energislag så har driftskostnader fått en större betydelse (Boverket, 2005). Sett till investeringskostnad kan man inte räkna bort dyrare lösningar då de i ett långsiktigt perspektiv kan vara mer lönsamma. För ett flerbostadshus är en normal avskrivningstid runt 40 år, i perspektiv till detta utgör investeringskostnaden en liten del av fastighetens totala kostnader (Boverket, 2005). Vid nyproduktion kan fastighetsägare få förmånligare lånevillkor av banken vid hus med låg energianvändningen. Om byggnaden uppfyller olika miljöcertifieringar eller

energiklasser så kan de ansöka om gröna lån (Vattenfall, 2020). Med finansiering av gröna lån innebär det att byggnaden ska vara resurs- och energieffektiv samt uppfylla vissa tekniska kriterier satta av banken som tar hänsyn till klimat och miljö.

Med ovan som bakgrund och i kombination med ökande elpriser och skärpta krav de närmsta åren framöver så blir uppföljning och analys en naturlig del av byggprocessen. Förbättring av drift och styrning kan minska energianvändningen vilket leder till mindre kostnader, både ekonomiska och miljömässiga.

1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att göra en uppföljning och utvärdering av två nybyggda flerbostadshus i Mölnlycke, Kv. Skogsvaktaren. Genom analys av energianvändning och dess fördelning kan lösningar på driftsförbättrande åtgärder föreslås. Kv. Skogsvaktaren består av ett avancerat vätskeburet värmeförsörjningssystem. En mer ingående beskrivning av värmeförsörjningssystemet och dess delar ges i kapitel 3.

Övergripande består systemet av bergvärme, solhybrider och fjärrvärme. Återladdning till borrhålslagret för bergvärmesystemet sker genom både solhybrider och kylbatteriet i luftbehandlingsaggregatet. Projekteringen för energianvändning och för återladdning av borrhålslagret skall jämföras med det första årets driftutfall. De punkter som ska utredas och jämföras mot projekterade värden listas nedan.

- Hur mycket solhybriderna återladdat borrhålen.
- Hur borrhålens temperatur varierat under årets månader.
- Hur bergvärmesystemets prestanda sett ut samt dess SCOP-värde.
- Hur mycket återladdning kylbatteriet i luftbehandlingsaggregatet genererat.
- Hur mycket energi som använts i husen och var.

Projekteringen jämförs månadsvis under perioden maj 2023 till april 2024. Denna period motsvarar byggnadernas första driftår. Inflyttning av hyresgäster stod klart först i slutet av april 2023. Om utfallet skiljer sig från projektering skall orsak till detta utredas och förslag på lösningar och optimeringar ges. En eventuell slutsats kan leda till mer generella råd när det kommer till optimal drift av ett liknande värmesystem som i Kv. Skogsvaktaren.

1.3 Frågeställningar

Följande frågeställningar är formulerade för att examensarbetet översiktligt och strukturerat ska genomföra en uppföljning och utvärdering av systemets olika delar.

1. Hur mycket återladdning har skett av borrhålen och vad kan ha påverkat storleken på denna återladdning?
2. Hur ser den faktiska energianvändningen av husen ut och hur stor andel kommer från bergvärme respektive fjärrvärme?
3. Vid stora skillnader från projektering, vilka bakomliggande orsaker finns och vilka drifttekniska förbättringar kan göras?

1.4 Avgränsningar

Rapporten studerar Kv. Skogsvaktaren som består av två flerbostadshus som är nästintill identiska. Enda skillnaden mellan husen är dess placering i olika väderstreck. Värmesystemets undercentral ligger i ett parkeringsgarage mellan de två husen. Därför kommer rapporten att granska värmeförsörjningssystemet som en helhet men även jämföra de två projekterade energiberäkningarna för respektive hus, A och B. Den undersökta perioden motsvarar inte ett fullt kalenderår utan det första driftåret av husens värmesystem. Den undersökta perioden är maj 2023 – april 2024.

Systemet kommer inte utvärderas med avseende på elanvändning i husen, med undantag för köpt el till bergvärmepumpar. Elen inkluderas för beräkning av SCOP på bergvärmepumparna.

Begreppet projektering i rapporten avser den del av projekteringen som Wikström AB varit delaktiga i och motsvarar systemhandlingsskedet under projektet. Indata kan därför skilja mot det som installerats. Den information arbetet tagit del av som skiljer sig mot ursprunglig projektering har därför justerats efter vad som blivit byggt. Detta berör solhybrider och EED-beräkningen, mer ingående information om detta ges i kapitel 4.2.

Återladdning från kylbatteriet i luftbehandlingsaggregatet tillkom i ett senare skede av projekteringen och saknar därför en projekterad månadsfördelning. Till följd av detta jämförs inte kylbatteriet månad för månad som de andra komponenterna i arbetet utan summeras till den totala återladdningen i resultatdelen av arbetet.

Solhybriderna är placerade på ett av husens tak och producerar både värme och el. Examensarbetet kommer endast utvärdera värmedelen av dessa.

1.5 Metod

Denna rapport utgår från ett specifikt projekt som Wallenstam AB uppfört i Mölnlycke där Wikström AB varit delaktiga i projekteringen. Arbetet har inletts med en ingående litteraturstudie av värmeförsörjningssystemets komponenter. I kombination med litteraturstudier har material från projekteringshandlingarna sammanfattats för en överblick över systemets funktion. Studiebesök på Kv. Skogsvaktaren har genomförts för en övergripande bild av undercentralen.

För beräkningar har datainsamling av utredd period hämtats från styrsystemets webbtjänst Eco Guard Curves. Mätare i undercentralen har registrerat data under drift och loggats i webbtjänsten Curves. Sammanställning av data och beräkningar utifrån frågeställningar har gjorts i Excel. En justering med hjälp av normalårskorrigerings har gjorts för värmedelen.

Normalårskorrigerings har utförts med energiindex och graddagar. I Appendix redovisas normalårskorrigerings med graddagar och en jämförelse mellan de två metoderna. För beräkning av borrhålslagrets temperatur har programmet Earth Energy Designer (EED) version 3.0 använts.

I resultatdelen av rapporten jämförs projektering och utfall i diagram och tabeller. Utifrån redovisade data har slutsatser och åtgärder presenterats för optimering av systemet. I diskussion och slutsats ges exempel på vidare studier och felkällor till arbetet.

2 Teori

I det här kapitlet presenteras grundläggande teori kring delarna i det undersökta värmeförsörjningssystemet samt relevant information som examensarbetet bygger på.

2.1 Bergvärme

Bergvärme är en typ av geoenergikälla där man utvinner värme som lagras i berggrunden. Geoenergi är främst solenergi som lagras passivt och sedan utvinns från berggrund, jordlager eller grundvatten. Där bergvärme är den vanligaste formen av geoenergi i Sverige (Sveriges geologiska undersökning, 2023).

Den svenska berggrunden har en god värmelagringsförmåga då den till stora delar utgörs av bergarterna granit och gnejs som båda har en hög kvartshalt. Värmeledningsförmågan är bland annat beroende på bergets kvartshalt där granits värmeledningsförmåga är runt $3,5\text{W}/(\text{mK})$ (Mogensen, 2013). Av världens samlade geoenergianvändning beräknas Sverige utgöra ca 25% av användningen (Björk, et al., 2013). Vid bergvärme borrar hål djupt ner i berggrunden för att kunna utvinna värmen som lagras. Värmen från berget leds från borrhålen till en värmepump som försörjer byggnadens värmebehov. Återladdning av borrhål kan behövas, mer om detta nedan.

Borrhål

Borrhålen benämns som energibrunnar och värmen utvinns med hjälp av kollektorer som sänks ner i hålen, vanligtvis används u-rörs kollektorer av plast (Mogensen, 2013). U-rörs kollektorn är svetsad ihop nedtill i en u-form och kan vara av enkel eller -dubbeltyp, den förs sedan ner i energibrunnen. Beroende på om enkla eller dubbla kollektorer används så ökar den värmeupptagande ytan. I kollektorn så cirkulerar en köldbärare som transporterar värme från berget till värmepumparna. Vatten tillsammans med ett frysskyddande ämne utgör köldbäraren, exempelvis etanol (Acuña, 2013). Borrhålen kan variera mellan ett djup på 100-250m där kollektorn sänks ner. Effektbehovet för fastigheten och berggrundens förutsättningar på platsen är några faktorer som styr dimensioneringen av borrhålet. Grundvatten och jordlager återfinns vanligtvis på ett djup mellan 2-7m (Acuña, 2013). Det aktiva borrhålsdjupet tas i hänsyn till vid dimensionering och det är ur den del av borrhålet som energi kan utvinnas.

Vid värmeuttag av borrhål så sänks temperaturen av bergets inre temperatur. Flera faktorer påverkar temperatursänkningen olika mycket. Några av dessa är bergets egenskaper, det aktiva borrhålsdjupet och belastningen som hålet utsätts för. Den aktiva borrhåls längden har störst påverkan och sker ett stort värmeuttag från borrhålet kommer temperaturen sjunka runt om hålet (Mogensen, 2013). Värmeledningsförmågan i berget påverkar hur mycket värme som närmar sig borrhålets kollektor. Vid värmeuttag extraheras energi genom ett värmeutbyte med en värmepump, en s.k. bergvärmepump. Efter flera års uttag från borrhålet närmar sig borrhålet och det närliggande berget ett konstant tillstånd där värmen i huvudsak kommer från markytan och endast en liten del från det omliggande berget. Denna process kallas för en naturlig återladdning av borrhål. Det skiljer sig på om man har ett borrhål för en fastighet eller flera som samverkar i ett så kallat borrhålslager.

Vid värmeuttag av borrhål så sänks temperaturen av bergets inre temperatur. Flera faktorer påverkar temperatursänkningen olika mycket. Några av dessa är bergets egenskaper, det aktiva borrhålsdjupet och belastningen som hålet utsätts för. Den aktiva borrhåls längden har störst påverkan och sker ett stort värmeuttag från borrhålet kommer temperaturen sjunka runt om hålet (Mogensen, 2013). Värmeledningsförmågan i berget påverkar hur mycket värme som närmar sig borrhålets kollektor. Vid värmeuttag extraheras energi genom ett värmeutbyte med en värmepump, en s.k. bergvärmepump. Efter flera års uttag från borrhålet närmar sig borrhålet och det närliggande berget ett konstant tillstånd där värmen i huvudsak kommer från markytan och endast en liten del från det omliggande berget. Denna process kallas för en naturlig återladdning av borrhål. Det skiljer sig på om man har ett borrhål för en fastighet eller flera som samverkar i ett så kallat borrhålslager.

Borrhålslager & återladdning



Figur 1. Inkommande borrhål till undercentralen i Kv. Skogvaktaren. Egen bild.

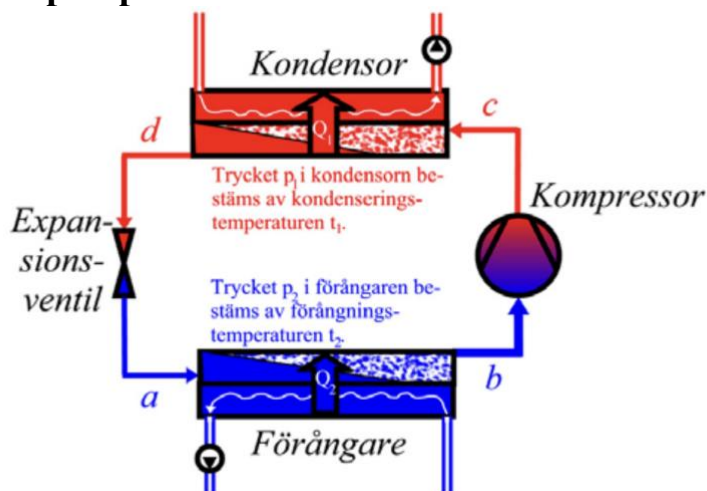
Vid bergvärmesystem som ska försörja större fastigheter krävs det flera energibrunnar i ett och samma system. Vid värmeuttag från flera borrhål nära varandra sjunker medeltemperaturen av berget då den tillgängliga markytan för uppvärmning av respektive hål minskar. I stället används borrhålslager, Borehole Thermal Energy Storage (BTES), för att skapa en aktiv säsongslagring av värme och kyla (Dahlqvist m.fl., 2016). Under de kalla säsongsmånaderna hämtas värme från borrhålen medan under sommarmånaderna kan frikyla erhållas från det nedkylda berget som därmed värms upp. Vid borrhålslager minskar den tillgängliga markytan för uppvärmning av respektive hål. Gradering längs djupet av borrhålen kan minska störning mellan borrhålen och dess temperatur. Då borrhålslagret belastas under vintertid krävs det att lagret värms upp under sommaren. Den åtgärd som anses vara mest effektiv för att säkerställa värme i lagret inför vintern är återladdning.

Återladdning av borrhål sker främst under sommarmånaderna och innebär att värme tillförs till borrhålen. Detta görs för att lagra värme i borrhålen till vintermånaderna då behovet av värme är som störst. Har byggnaden ett kylbehov kan kyla tas ut under sommartid. Återladdning av borrhålen kan ske genom att exempelvis ta vara på värmen i frånluften eller från solceller (Dahlblom & Warfvinge, 2010).

Frikyla med borrhålslager

Frikyla innebär att kylning kan ske utan någon extra energi till systemet. Det enda som krävs är el för fläktar och pumpar (Dahlblom & Warfvinge, 2010). Samtidigt som återladdning av borrhålen sker sommartid kan kyla hämtas för att kyla när byggnaden. Kyla kan exempelvis ledas till ett kylbatteri för att sänka temperaturen på tilluften.

Bergvärmepump



Figur 2. Ångkompressionscykeln i en värmepump. (Björk et al., 2013). Återgiven med tillstånd.

Bergvärmepumpens värmeutvinning från borrhålen till värmesystemet sker genom en ångkompressionscykel där ett köldmedium cirkulerar i pumpen. Processen drivs av el till kompressorn. Köldmediet i pumpen genomgår en förändring i entalpi via en temperaturskillnad mellan en varm och en kall sida (Mogensen, 2013).

I förångaren, vid den kalla sidan avges värme från borrhålets köldbärare till köldmediet i värmepumpen. När värmeutbytet skett återförs den ”nedkylda” köldbäraren tillbaka ner i borrhålet där den på nytt hämtar värme till värmepumpen. Köldmediet i ångkompressionscykeln fortsätter efter förångaren till kompressorn där både trycket och temperaturen på köldmediet ökar (Granryd, 2013). Hur stor ökning som sker beror på kompressorns effektivitet och vilken framledningstemperatur som behövs på varma sidan efter bergvärmepumparna.

Från kompressorn leds gasen till kondensorn där värme avges till varma sidan. Vätskan som lämnar kondensorn förs via en expansionsventil tillbaka till förångaren där låg temperatur krävs för att värme ska kunna tas upp. Expansionsventilen kontrollerar flödet av köldmediet in i förångaren.

Värmepumpens effektivitet baseras på dess värmefaktor som benämns som Coefficient Of Performance (COP). COP anger förhållandet mellan värmeenergi som fås ut och eleffekt som tillförs (Dahlblom & Warfvinge, 2010). COP beräknas enligt ekvation 1 nedan (Bäckström m.fl., 2018). Q är den erhållna värmeenergin från bergvärmepumparna och W är den tillförda eleffekten till bergvärmepumparna.

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (1)$$

Ett värde på COP runt 3–4 är vanligt. Värdet blir högre desto mindre temperaturskillnaden är mellan kondensator och förångare (Dahlblom & Warfvinge, 2010). Ett högt värde på COP innebär att värmepumpen kräver mindre tillförd eleffekt för att leverera värme till systemet. SCOP står för Seasonal Coefficient Of Performance och anger värmepumpens årsvärmefaktor.

2.2 Solhybrider (PVT, PhotoVoltaic Thermal)

Solceller omvandlar solstrålning till elektrisk energi. Genom att montera en termisk kollektor på baksidan av en solcell får man en så kallad solhybrid (Chatterjee m.fl., 2023). Till skillnad från solcellen genererar solhybriden både värme och el. Genom att ansluta solhybriden till en bergvärmepump ökar verkningsgraden på solhybriderna. På så sätt genererar solhybrider mer el än solceller. En solhybrid kan köras även molniga dagar då den inte enbart hämtar värme från solen utan även omgivande luft (Samster AB, 2023). Solhybridens uppbyggnad ser ut på följande sätt, en termisk kollektor monteras på baksidan av en solcell och mellan dessa komponenter finns en luftspalt (Samster AB, 2023). Solcellen absorberar sol- och dagsljus för att omvandla till elektrisk energi men när temperaturen på solcellen ökar minskar dess effekt. Därav används den termiska kollektorn för att kyla ner solcellen och på så sätt öka effekten (M. Aldubyan, 2017). En solhybrid som utsätts för mycket solstrålning kan ge upp till 20% mer el jämfört med en solcell (Samster AB, 2023).

Figur 3 visar ett principschema över en standardlösning på ett solhybridsystem. Kall vätska från värmepumpen och varm vätska från solhybriden kopplas till en värmeväxlare där värmeutbyte sker. Returflödet från värmepumpen, den nu uppvärmda vätskan, förs ned till borrhålet som på så sätt återladdas. På samma sätt cirkuleras den nu kalla vätskan efter värmeväxlingen tillbaka till den termiska solkollektorn. Syftet med solhybrider är alltså flera, dels att återladda borrhålen genom att generera värme, dels att generera el.

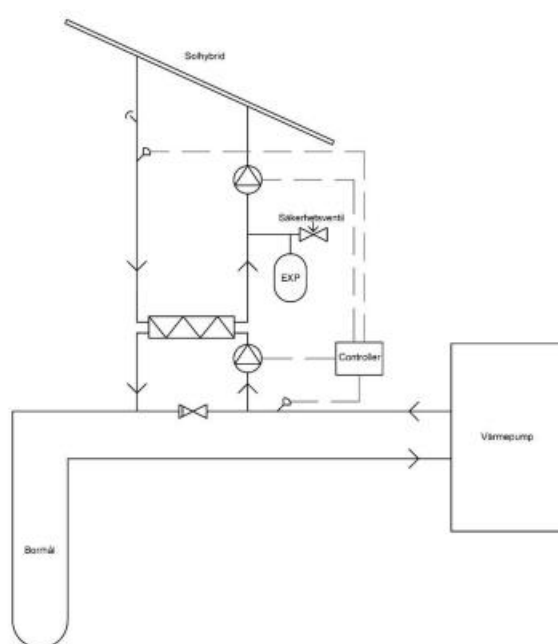


Bild 1, standardsystem

Figur 3. Principskiz över solhybriders inkoppling till ett standardsystem med bergvärme. (Samster, 2023.). Återgiven med tillstånd.

Det finns ett flertal faktorer som påverkar hur mycket värme en solhybrid genererar och därmed hur mycket borrhålet återladdas. Faktorerna kan delas in i tre kategorier: klimat-, drift- och designparametrar. Mycket solljus, anpassad storlek på värmeväxlaren samt antal och storlek på solhybriderna är några exempel på faktorer som påverkar återladdningen (Lateef Abdulalah m.fl., 2019).

2.3 Fjärrvärme

Fjärrvärme används för att få varmvatten till bland annat duschar, handfat och radiatorer. Detta sker genom att vatten värms upp i ett fjärr- eller kraftvärmeverk, alternativt tar man vara på spillvärme från lokala industrier (Rydegran, 2023). Varmvattnet leds sedan ut till byggnader via rörsystem i marken. Väl i byggnaden finns en fjärrvärmecentral där värmen överförs genom värmeväxlare och leds ut i det interna värmesystemet. Två värmeväxlare är minimum i husets fjärrvärmecentral, en för tappvarmvatten och en för uppvärmning (Dahlblom & Warfvinge, 2010). ”Restprodukten”, det vill säga kallvattnet som blir kvar efter värmeväxlingen, leds tillbaka till fjärr- eller kraftvärmeverket där det sedan värms upp igen (Eriksson, 2004).

2.4 VVC

För att säkerställa att det alltid finns varmvatten i husets kranar och väntetiden inte överstiger 10 sekunder vid ett normflöde på 0,2l/s vid tappstället så används VVC, Varmvattencirkulation. Detta är ett krav enligt BBR:s föreskrifter som måste uppnås vid VVC-installationer (Boverket, 2021). Genom en VVC-pump hålls en konstant cirkulation på vattnet i ledningarna (Dahlblom & Warfvinge, 2010). Systemet får aldrig understiga 50 grader till följd av risk för legionella, en allvarlig sjukdom som klassas som anmälningspliktig (Andersson, 2024).

2.5 Ackumulatortank



Figur 4. Ackumulatortank i Kv. Skogsvaktarens undercentral. Egen bild.

En ackumulatortank kan installeras till ett värmesystem av flera anledningar. Den största fördelen är flexibiliteten som systemet får (Kovács, 2000). Ackumulatorn ger möjlighet att växla mellan olika värmekällor och på så sätt styra värmesystemet efter det alternativ som är mest lönsamt för stunden. Som exempel används ofta mer

fjärrvärme under sommarmånaderna då fjärrvärmefaktorn är lägre. Ackumulatortanken är till för att lagra värme från en värmekälla och sedan avge denna vid behov. Det går att koppla in en bergvärmepump till ackumulatortanken för att minimera många start och stopp för pumparna (Kovács, 2000). Då bergvärmepumpen arbetar mot temperaturskillnader i ångkompressionscykeln kan en för hög temperatur leda till slitage på kompressorn. Genom att koppla in en bergvärmepump till ackumulatortanken så kan värme lagras till senare för att slippa starta pumpen flera gånger.

2.6 EED – program

EED, Earth Energy Designer, är ett program som används för att dimensionera borrhålslager. Mängden värme som förväntas hämtas från borrhålen matas in i programmet. Därefter kan verktyget beräkna vilken storlek samt placering av borrhålen som behövs (Boverket, 2022). Programmet gör det även möjligt att simulera hur temperaturen varierar i ett borrhålslager över en tidsperiod på 25 år. EED är ett väl beprövat verktyg utvecklat av forskare vid både Chalmers och Lunds universitet. Det används i branschen i 25 olika länder och över 1000 olika konsultfirmor och universitet, bland annat av Sweco, WSP och Wikström (Blocon, 2022).

För en EED-beräkning tar programmet hänsyn till flera parametrar som exempelvis markförhållanden, utformning av borrhål, energibehov och bergvärmepumpens SCOP. Markförutsättningar innefattar bland annat bergets värmeledningsförmåga. För utformning av borrhål kan antal borrhål och dess borrhålslängd beräknas av programmet om man inte väljer att göra en EED-konfiguration av ett redan existerande borrhålslager med tillgängliga indata. Husens värmebehov kan föras in som både värmeuttag över ett helt år eller med en månadsfördelning. Samma sak gäller för planerad återladdning av borrhålslagret. I programmet fylls även SCOP för bergvärmepumparna in.

2.7 Energiuppföljning av byggnad

Vid en uppföljning av en byggnads energianvändning utifrån uppmätta värden krävs två steg för utvärdering (Boverket, 2017). Först behövs en fördelning göras över alla energiposter som ingår i den undersökta byggnadens energianvändningen. Dessa inkluderar den faktiska uppvärmningen för tappvarmvatten och rumsuppvärmning. Är det bortfall av dagar eller om systemet tagits ur drift behövs en korrigering göras så energianvändningen adderas. Finns inte tillräckligt med mätare i huset eller om det är för mycket bortfall har Boverket flera föreskrifter och allmänna råd om hur en korrigering av posterna skall gå till. Om mätarna däremot täcker den undersökta perioden, vilket är ovanligt, kan detta bortses ifrån och nästa steg kan utföras. Steg två innefattar en normalårskorrigering av de energiposter som påverkas av vädret.

Normalårskorrigerig, graddagar och energiindex

Genom att göra en normalårskorrigerig tar man hänsyn till uteklimatet och kan jämföra hur mycket energianvändningen i en byggnad skiljer sig från ett normalår (Boverket, 2022). Energianvändningen påverkas av utetemperaturen men även av andra faktorer. Därav finns två olika metoder för att göra en normalårskorrigerig, graddagar och energiindex (SMHI, 2024). En normalårskorrigerig med graddagar tar endast utetemperaturen i beaktning medan en korrigerig med energiindex tar hänsyn till andra faktorer såsom vind, molnighet och geografiskt läge.

Exemplet nedan är taget från SMHI normalårskorrigeringsguide och beskriver hur en normalårskorrigerig går till (SMHI, u.å).

1. Beräkna baslasten. Den energianvändning som inte påverkas av väderförhållandena så som tappvarmvatten och VVC.

$$\text{Baslast} = 30 \text{ MWh}$$

2. Beräkna den totala energianvändningen i byggnaden och subtrahera baslasten för att få fram energianvändningen som ska korrigeras.

$$\begin{aligned} \text{Total energianvändning} &= 100 \text{ MWh} \\ 100 - 30 &= 70 \text{ MWh} \end{aligned}$$

3. Ta fram korrigeringsfaktorn från SMHI Energiindex eller Graddagar. Denna faktor anger hur mycket året skiljer sig från ett normalår och varierar beroende på vilken ort som byggnaden befinner sig i. Dividera energianvändningen som ska korrigeras med korrigeringsfaktorn.

$$\frac{70}{1,1} = 64 \text{ MWh}$$

4. Addera åter baslasten för att få fram den normalårskorrigerade energianvändningen.

$$64 + 30 = 94 \text{ MWh}$$

SMHI gör sammanställningar månadsvis på Energi-Index och graddagar som baseras på ortens förutsättningar. Energi-Index anger uppvärmningsbehovet och tar inte endast hänsyn till temperatur på orten utan utgår även från solstrålning, molnighet och vind. Det fångar in mer om komplexiteten i klimatet jämfört mot graddagar som redovisar hur temperaturen skiljer sig från ett normalår

3 Kv. Skogsvaktaren / Studerad byggnad



Figur 5. Kv. Skogsvaktaren, bild från studiebesök i mars. Egen bild.

Kvarteret Skogsvaktaren uppfört i Mölnlycke på uppdrag av Wallenstam AB består av två flerbostadshus. Ett gemensamt parkeringsgarage mellan de två husen förser parkeringsbehovet för de boende. Byggstart inleddes under första kvartalet 2021 och inflyttning av hyresgäster stod klart i slutet av april, början av maj 2023. Wallenstam satte höga miljökrav på projektet och siktade på ett certifikat för miljöbyggnad silver. Nivån silver innebär att byggnaden presterar över de gränsvärden som satts för till exempel ljudmiljö, energiprestanda och solskydd (Sweden green building council, 2024). Beställarna var även tvungna att utföra en klimatdeklaration på byggnaden. Detta låg bland annat som bakgrund för Wallenstam att testa nya lösningar som kunde minska deras energianvändning. Information om det studerade objektet redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Översiktlig information över studerat objekt.

Studerat objekt	
Ort	Mölnlycke
Byggstart	Första kvartalet 2021
Inflyttning av hyresgäster	April/maj 2023
Antal byggnader	2
Antal våningar per byggnad	11
Antal lägenheter totalt	128
Antal parkeringshus totalt	1
A-temp per byggnad [m ²]	4522
Garage BTA g area [m ²]	337
Värmesystem	Radiatorer och golvvärme på entréplan
Energiförsörjning	Bergvärmepumpar (2st) med fjärrvärme, solhybrider och frikyla från kylbatteri.

3.1 Bakgrund

Tidigare i sina fastigheter har Wallenstam använt uteluftvärmepumpar i kombination med fjärrvärme, en lösning där uteluftvärmepumpar (luft/vatten) placerats på taken. Uteluftvärmepumpar (luft/vatten) har använts frekvent av Wallenstam i deras bostadsprojekt. Framst till följd av att investeringskostnaden för pumparna är lägre jämfört med bergvärme. För uteluftvärmepumpar sker så kallad påfrysning vid kallare utetemperaturer vilket innebär att is bildas på den utvändiga värmeväxlaren. För att smälta denna sker avfrostning innan uteluftvärmepumpen kan återgå till normalläge. En problematik med uteluftvärmepumpar är att buller fortplantas i luften och via vibrationer. Det finns åtgärder mot bullret som gör att man nästan alltid klarar ljudkraven från BBR. Trots detta kan ljudet upplevas som störande, speciellt vid närliggande balkonger eller sovrum med öppna fönster. (K. Svanholm, personlig kommunikation, 7 februari, 2024). Coefficient of performance, COP på pumparna är en ytterligare faktor som påverkar valet av en annan lösning. Under sommartid fungerar uteluftsvärmepumparna väl men till följd av låga temperaturer och avfrostning på vintern blir COP för lågt jämfört med prestandan för bergvärme.

För värmeförsörjningssystemet till kvarteret Skogsvaktaren har en hybridlösning projekterats då flera förutsättningar ledde till att Wallenstam inte längre kunde applicera sina vanliga projekteringslösningar. I samråd med konsulter och leverantörer har ett alternativt värmeförsörjningssystem projekterats.

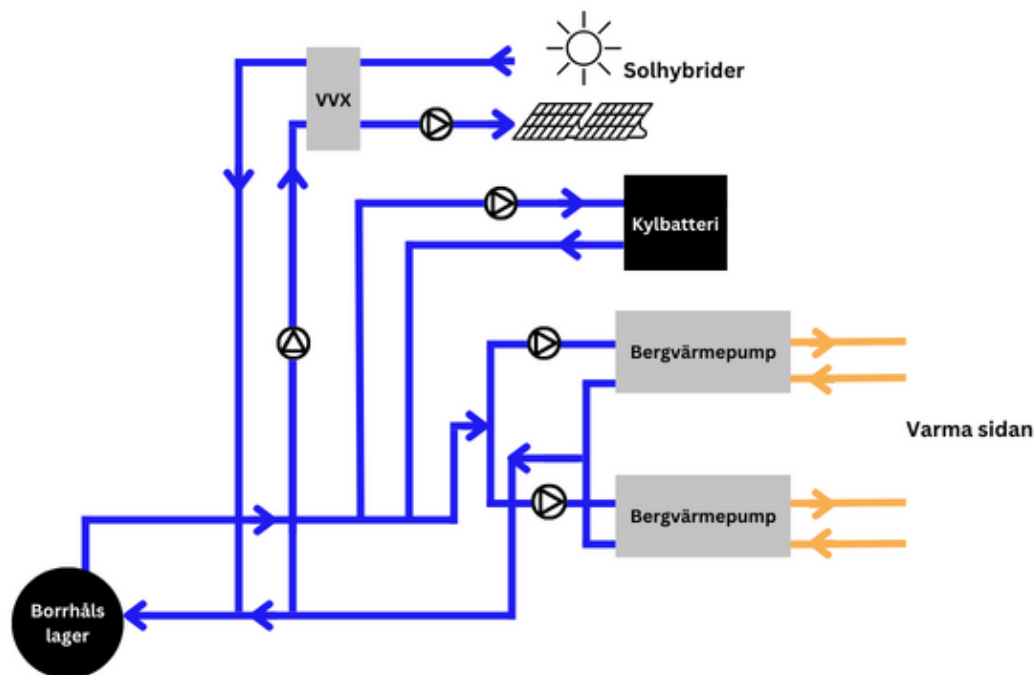
Kvarteret Skogsvaktaren planerades för byggnation av vindslägenheter vilket ledde till att uteluftvärmepumpar inte längre var ett alternativ. Skogsvaktaren blev ett pilotprojekt för ny teknik i Wallenstams fastigheter (Wallenstam, 2021). Med detta som bakgrund resulterade Skogsvaktarens värmesystem i en lösning med bergvärme, fjärrvärme och återladdning av borrhålslagret från solhybrider och kylbatteriet i luftbehandlingsaggregatet.

Wikström AB har varit med under projekteringen. De har gjort beräkningarna för borrhålslagret, energiberäkningarna för respektive hus samt deltagit i arbetet med att ta fram systemhandling och programhandling. Tomtens platsbegränsning och bristen på tillgänglig markyta till följd av parkeringshuset ledde till att återladdning krävdes redan från start för borrhålen. Framst till följd av den täta placeringen av borrhålen samt avsaknaden av naturlig återladdning för de borrhål som placerats under garaget.

3.2 Systemuppbyggnad

Bergvärmen är främst tänkt att försörja rumsuppvärmningen i värmesystemet medan fjärrvärmen finns till för spetslast under de kallare månaderna när värmebehovet är som störst. Fjärrvärmen är även tänkt att försörja VVC till 100% och VV i kombination med bergvärmen. Styrning och reglering av systemets komponenter sker efter olika driftsvillkor och börvärden. Dessa kan ändras i styrsystemet efter hur man vill att systemet ska drivas.

Kalla sidan

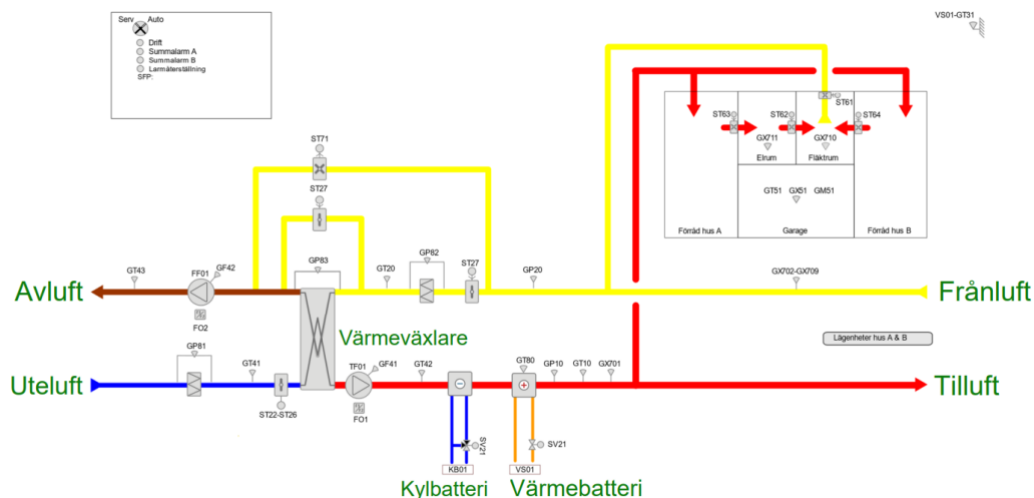


Figur 6. Flödesschema över Kv. Skogsvaktarens vätskeburna värmesystem, kalla sidan.

Värmesystemets kalla sida består av borrhålslager, solhybrider, kylbatteri i luftbehandlingsaggregatet och bergvärmepumpar. Dessa komponenter samverkar för att generera värme via bergvärmepumparna till den varma sidan av värmesystemet. Under uppvärmningssäsongen (oktober – april) leds lagrad värme från borrhålslagret till bergvärmepumparna. Detta görs för att stötta bergvärmepumparnas körning och försörja husens värmebehov. Vid de varmare och soligare månaderna används solhybrider och kylbatteriet för att återladda borrhålslagret. Återladdning av borrhålslagret sker främst under sommarsäsong (maj-september). Syftet är att värma upp och lagra värme i borrhålen inför vintersäsong, då värmebehovet är som allra störst. Det är även en åtgärd för att öka COP på bergvärmepumparna alltså en ökad verkningsgrad. Till följd av detta minskar bergvärmepumparnas behov av tillförd el. I husen sker återladdningen både via solhybridernas retur till borrhålslagret samt kylbatteriets retur till bergvärmepumparna.

Solhybriderna kan generera både el och värme. Det som återladdas till borrhålen är den värme som solhybriderna alstrat. En del av vätskan från bergvärmepumparnas retur pumpas upp till solhybriderna där nedkylning av solhybridernas baksida sker. Vid solhybriderna sitter en värmeväxlare. Den ger möjlighet för solhybriderna att cirkulera runt i ett stängt eget system genom att endast köra pump KB01-P1, se

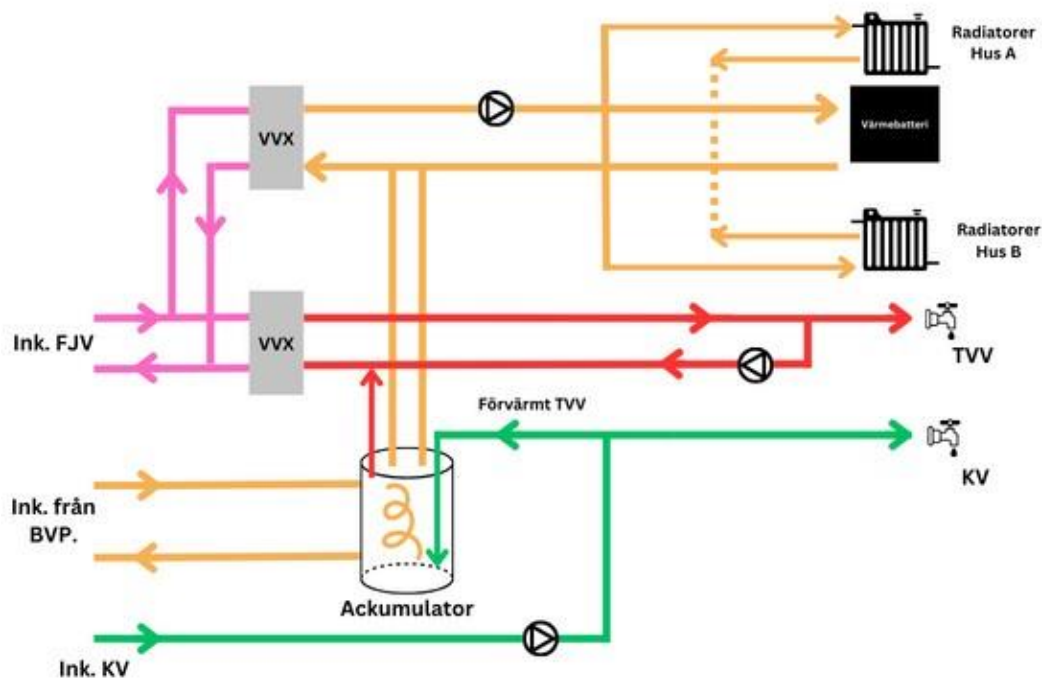
detaljerat flödesschema i Appendix. Vid värmeväxlaren sker värmeutbyte och värme skickas ner till borrhålen.



Figur 7. Flödesschema över luftbehandlingsaggregatet i Kv.Skogsvaktaren.

Kylbatteriet sitter i luftbehandlingsaggregatet och är placerat mellan värmeväxlaren och värmebatteriet, se Figur 7. Innan kylbatteriet sitter en trevägsventil som kan öppnas vid varmare utetemperaturer. Då tas kyla upp från borrhålslagret till kylbatteriet som sänker temperaturen på tilluften. Returen från kylbatteriet skickas därefter ner till bergvärmepumparna som på så sätt får en ökad verkningsgrad. I sin tur blir returen från bergvärmepumparna högre och borrhålen återladdas av denna.

Varma sidan



Figur 8. Flödesschema över Kv. Skogsvaktarens vätskeburna värmesystem, varma sidan.

Värmesystemets varma sida består av

1. Akkumulatortank.
2. Inkommande kallvatten (KV) / Förvämt tappvarmvatten (TVV).
3. Varmvattencirkulation (VVC) / Tappvarmvatten (TVV).
4. Radiatorsystem, Hus A och Hus B.
5. Värmebatteri i luftbehandlingsaggregat.
6. Inkommande fjärrvärme.

På varma sidans flödesschema i nedre vänster del av Figur 8 ser man inkommande bergvärme från kalla sidan till akkumulatortanken. I akkumulatorn lagras värmen från bergvärmepumparna. En del av inkommande kallvatten från gatan leds in vid nedre del av tanken för förvärmning genom slingor. Resterande del av tappvarmvattnet värms upp genom en fjärrvärmeväxlare via en anslutning från akkumulatortanken. VVC värms av fjärrvärmens helt och hållet. Från akkumulatorn leds även värme vidare till husens radiatorsystem och värmebatteriet i luftbehandlingsaggregatet genom 2st trevägsventiler. Dessa komponenter försörjer byggnaderna med värme. Det finns även golvvärme på entréplanerna i bägge husen.

4 Projekteringsförutsättningar

Det som listas i detta kapitel är den del av projekteringen som kommer jämföras med examensarbetets frågeställningar.

4.1 Värmesystemet

Följande data anger de projekterade värdena för värmeförsörjningssystemet i Kv. Skogsvaktaren.

- Värmepumpar förväntas stå för 98% av uppvärmningsbehovet. I projekteringen är detta förenklat och man räknar med 100% vilket motsvarar 236MWh/år och 26kWh/m², år, där A-temp är 4522x2 (2st hus). Med uppvärmningsbehov menas värme till radiatorer, golvvärme och värmebatteri.
- Värmebehovet för tappvarmvatten och varmvattencirkulation beräknas till 204MWh/år, 22,5 kWh/m², år.
- Utanför uppvärmningssäsong värms tappvarmvatten och VVC helt via fjärrvärme. Under uppvärmningssäsong täcks 20–35% av förvärmningen av varmvattnet av värmepumparna.
- Totalt uppvärmningsbehov som sker via värmepumparna till radiatorer, golvvärme, värmebatteri, tappvarmvatten och VVC uppgår till 288MWh/år.
- Energiuttag från borrhål till bergvärmepumpar förväntas vara ungefär 220MWh med ett SCOP på 4,3 för bergvärmepumparna.

4.2 Skillnader i projektering mot utfall

Utformningen av borrhålslagret samt antal installerade solhybrider skiljer från vad projekteringen baserats på. Till följd av detta beräknades vissa delar av projekteringen om för att kunna göra en jämförelse baserad på lika villkor utifrån vad som blivit byggt.

- När solhybriderna projekterades var det inte planerat för att även kylbatteriet i luftbehandlingsaggregatet skulle återladda borrhålen. Denna funktion tillkom senare i systemhandlingskedet då Wikström inte längre var delaktiga. Därför saknas projektering och beräkningar för hur mycket värme kylbatteriet förväntades generera. Därav jämförs både kylbatteriet och solhybridernas återladdning summerat med det projekterade värdet för solhybriderna.
- Till följd av att flera borrhål hamnade för högt i förhållande till bergvärmepumparna önskade borrhålsentreprenören en förändring av deras position. Detta medförde att avstånden mellan borrhålen minskade samt att placeringen av dessa förändrades från projektering.

4.3 Projektering av solhybrider

Den indata som tilldelats från leverantören för solhybriderna är baserad på ett flertal referensprojekt och speglar ett normalår. Följande projekteringsdata har använts för beräkning av solhybridernas förväntade återladdning.

- Varje solhybrid förväntas leverera ca 2 500kWh/år.
- Ursprunglig projektering utgick från att 72st solhybrider skulle installeras.
- Omgjord projektering utgick från 69st solhybrider vilket är det antal som faktiskt installerades.

Som konsekvens av att den ursprungliga projekteringen skiljer sig från det som faktiskt installerades gjordes en ny projektering i examensarbetet. Beräkningarna för den nya projekteringen utgår från samma data som i den gamla, skillnaden är att antalet solhybrider minskade från 72st till 69st. Det är inte möjligt att göra en prognos för hur solhybriderna presterar månadsvis eftersom de påverkas av meteorologiska faktorer såsom utetemperatur, vind och sol. På grund av detta har man utgått från ett normalår där varje solhybrid förväntas ge 2500kWh/år, enligt solhybridsleverantören med en månadsfördelning enligt Diagram 1. Se ekvation (2) och (3) för de olika projekteringarna av total återladdning från solhybriderna under ett år.

*Total återladdning från solhybrider (72st) = 2500 * 72 = 180 MWh/år (2).*

*Total återladdning från solhybrider (69st) = 2500 * 69 = 172,5 MWh/år (3).*

Ekvation (3) visar det värde som det verkliga utfallet från solhybriderna kommer jämföras mot. Som tidigare nämnt går det inte att förutspå en månadsfördelning över solhybridernas prestation. Därav är den månadsfördelning som finns baserad på en procentuell andel solhybriderna förväntas ge av hela årets totala värmegenerering, se Diagram 1.

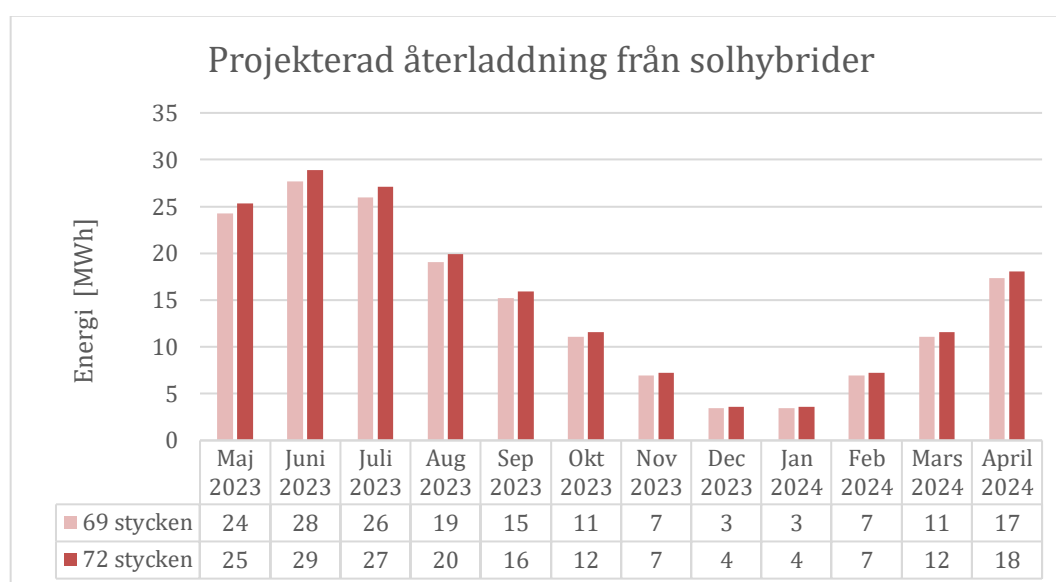


Diagram 1. Månadsvis uppställning över projekterad återladdning från solhybrider.

Högst återladdning förväntas ske i juni följt av juli, maj och augusti. Minst återladdning förväntas ske under vintermånaderna december, januari och februari.

4.4 Projektering av borrhålslager

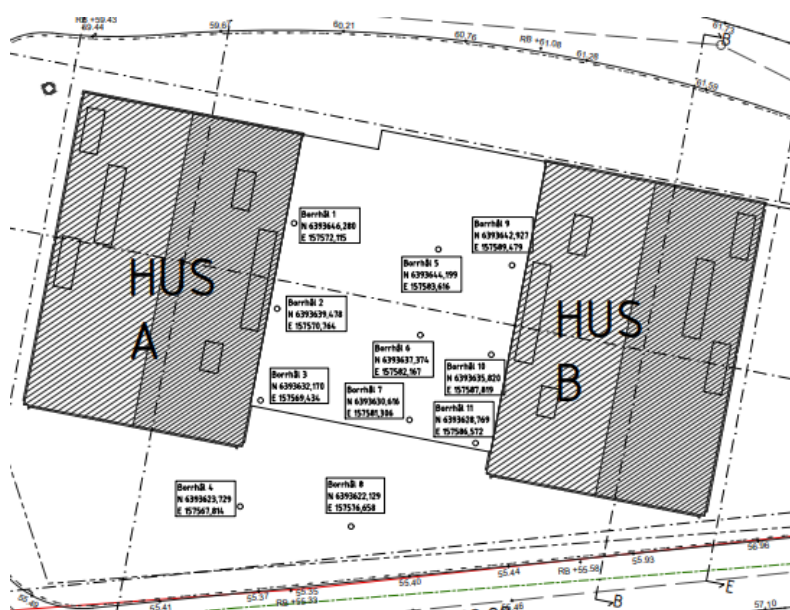
De parametrar som omnämns i detta kapitel har alla en inverkan på borrhålslagrets temperatur. Stort värmeuttag, lite återladdning eller tät placering mellan borrhålen gör borrhålslagret kallare vilket påverkar värmepumparnas COP och även perioden man kan utvinna värme från det. I den ursprungliga projekteringen gjordes en EED-beräkning för att dimensionera borrhålslagret. Eftersom borrhålen vid byggnation skiljer sig från ursprunglig projektering utfördes en ny EED-beräkning. Vid den omgjorda EED-beräkningen ändrades endast de parametrar som berörde borrhålslagrets utformning så det stämde överens med det som faktiskt anlades. Skillnaderna mellan original projekteringen och den nya visas i Tabell 2.

Tabell 2. Skillnad mellan EED-beräkningar över projektering.

	Ursprunglig projektering	Ny projektering
Antal borrhål	12	11
Medelavstånd mellan borrhålen	10m	8,9m
Aktiv borrhålslängd	2100m	2154m
Återladdning	180 MWh	172,5 MWh

I och med dessa förändringar och för att få en mer realistisk jämförelse av projekteringen mot utfallet av borrhålslagret gjordes totalt två EED-beräkningar. En som motsvarar projekteringen men med korrigerade borrhålsparametrar efter vad som blivit byggt. Den andra med det verkliga värmeuttaget och återladdning som skett under perioden maj 2023 - april 2024. Dessa två jämförs mot varandra i kapitel 6.3.1

Utöver de skillnader som nämnts ovan ändrades även placeringen av borrhålen. Som alternativ till det ursprungliga förslaget föreslogs att två borrhål flyttas ut från parkeringsgaraget till dess framsida. Borrhålslagrets slutgiltiga position visas i Figur 9 som är ett utdrag från situationsplanen. Avstånden mellan borrhålen mättes och delades på antalet sträckor för att få fram ett medelavstånd.



För ett borrhålslager med 11st borrhål är den enda tillgängliga konfigurationen att sätta hålen i en linjeformation i EED-programmet. Det ändrar förutsättningarna för mycket för att kunna jämföra projekteringen med utfallet. Därav ändrades antal borrhål i EED från 11st till 12st för att kunna simulera borrhålslagret med en rektangulär konfiguration. Anledningen till att det rektangulära alternativet ger mer representativa värden har att göra med hur ett borrhålslager fungerar. Ju mindre avstånd det är mellan borrhålen desto mer påverkar de varandra (Björk, et al., 2013). Då borrhålslagret i Kv. Skogsvaktaren är rektangulärt ansågs det vara det mer korrekta alternativet trots ett extra borrhål i beräkningen. Konfigurationernas utformning i EED-programmet redovisas i Appendix och resultatet av den omgjorda EED-beräkningen redovisas i avsnitt 6.3.1.

Tabell 3. Sammanställning över borrhålens parametrar vid Kv. skogsvaktaren.

	1	2	3	4	5
Borrhål	Totaldjup från markyta [m]	Jorddjup från markyta till berg [m]	Aktivt borrhålsdjup [m]	Ytter-diameter [mm]	Botten-diameter [mm]
			(1. - 2.=3.)		
1	200	3	197	139,7	114,8
2	200	1,5	198,5	139,7	114,1
3	200	1,5	198,5	139,7	114,8
4	200	2,5	197,5	139,7	114,4
5	200	6	194	139,7	115,1
6	200	5,5	194,5	139,7	114,1
7	200	6	194	139,7	113,8
8	200	3	197	139,7	114,5
9	200	4	196	139,7	114,9
10	200	6,5	193,5	139,7	114,5
11	200	6,5	193,5	139,7	114,6

Det aktiva borrhålsdjupet fås genom att subtrahera jorddjupet (2) från det totala borrhålsdjupet (1) vilket redovisas i Tabell 3. Summering av totalt aktivt borrhålsdjup uppgår till 2154 m. För att kompensera för det extra borrhålet fördelas 2154m jämnt över 12st borrhål och ett genomsnittligt djup fås, se ekvation (4).

$$\text{Medel borrhålsdjup} = \frac{2154}{12} = 179,5\text{m (4)}.$$

5 Beräkningar

Nedan presenteras beräkningar och hur data som dessa baseras på tagits fram.

5.1 Tillförlitlighet av data

Data som presenteras i detta kapitel är hämtad från mätplattformen Ecoguard Curves om inte annat anges. Datan har sammanställts i Excel som även använts som ett beräkningsverktyg.

Curves loggar data en gång i timmen, dygnet runt och är uppkopplat till alla mätare i Kv. Skogsvaktaren. I de fall då loggning av enstaka dagar saknas, bortses detta ifrån eftersom Curves registrerar mätvärdena momentant och utan justering. Undantaget är när saknad loggning sträcker sig över ett månadsskifte, vilket för samtliga mätare gäller mellan 22 december 2023 – 2 januari 2024. Här har en korrigering av värdena gjorts för att få en korrekt månadsfördelning. Korrigeringen innebär att ett genomsnitt av värdena i december respektive januari adderas på det antal dagar som saknas i varje månad. En kontroll har även utförts av data mot styrsystemet Webport. I Webport kan realtidsloggning följas för systemet men även månads-sammanställningar. Exporter till Excel av Webports loggade data har kontrollerats mot mätdata från Curves som en extra säkerhet för att upptäcka avvikande värden. Curves visade sig stämma väl överens och har därför använts för alla arbetets beräkningar.

5.2 Normalårskorrigering med energiindex

För att ta hänsyn till hur den undersökta perioden sett ut i förhållande till ett normalår har en normalårskorrigering utförts med hjälp av energiindex.

Alla mätares uppmätta energianvändning i värmeförsörjningssystemet har korrigerats enligt metod för normalårskorrigering med energiindex, månadsvis. Mätarna som normalårskorrigerats är de som sitter på radiatorerna i hus A och B samt värmebatteriet. Dessa tre mätare utgör värmeförsörjningssystemet utan baslasten. Baslasten är de delar i värmesystemet som inte är beroende av väder som TVV och VVC, dessa normalårskorrigeras inte. Efter korrigering har energianvändningen och baslasten summerats. För en summering av husets baslast krävdes två ekvationer utöver Curves uppmätta data, då det saknades mätare i huset över tappvarmvattenförbrukningen från fjärrvärmesidan. För att beräkna energianvändningen till tappvarmvattenförbrukningen och hur mycket fjärrvärme respektive bergvärme som använts har ekvation (3.2) och (2.3) beräknats enligt Figur 10.

Mätplan Kv Skogsvaktaren				
Beskrivning	Mätar ID	Prefix	Beräkning	Metod
Värmepumpsvärme total	UM204-VMM-VPA	1.1		Mäts
Värmepumpsvärme varmvatten total		2.1	1.1 - 3.1	Beräknas
Värmepumpsvärme vent- och rumsuppvärmning total	UM210-VMM-VS	3.1		Mäts
Fjärrvärme total	Fast-FJV01	1.2		Mäts
Fjärrvärme vent- och rumsuppvärmning total		3.2	3.3 + 3.4 + 2.8 - 3.1	Beräknas
Fjärrvärme varmvattencirkulation	UM208-VMM-VVC	2.2		Mäts
Fjärrvärme varmvatten		2.3	1.2 - 3.2 - 2.2	Beräknas
Värmepump, SCOP		1.3	1.1 / 1.4	Beräknas

Figur 10. Mätplan för Kv. Skogsvaktarens mätare i styrsystemet. (Wallenstam, 2023).

Mätplanen ovan är ett dokument som redovisar beräkningar för de olika mätarna och vad som mäts i byggnaderna. I Tabell 4 nedan beskrivs posterna i mätplanen.

Tabell 4. Redogörelse för poster i Mätplanen.

Förklaring av poster i mätplan	
1.2	Fjärrvärme total.
2.2	Fjärrvärme VVC.
2.3	Fjärrvärme varmvatten.
2.8	Värmebatteri i luftbehandlingsaggregat total.
3.1	Värmepumpsvärme till värmebatteri och radiatorsystem.
3.2	Fjärrvärme till värmebatteri och radiatorsystem.
3.3	Hus A radiatorsystem total.
3.4	Hus B radiatorsystem total.

För beräkning av ekvation 2.3 i Figur 10 krävs fjärrvärmens energi till ventilation och rumsuppvärmning som beräknas med hjälp av ekvation 3.2 i mätplanen ovan. En summering av energianvändningen för radiatorerna samt värmebatteriet och subtraherades med den del av fjärrvärmens energi som stöttar värmebatteri och radiatorsystemen.

Ekvation 3.2 i mätplanen redovisar hur mycket fjärrvärmens energi bidrar till ventilation och rumsuppvärmning. Se Ekvation 5.

$$\text{Fjärrvärme rumsuppvärmning} = (3.3) + (3.4) + (2.8) - (3.1) \quad (5).$$

Ekvation 2.3 i mätplanen redovisar hur mycket fjärrvärmens energi bidrar till varmvattnet, se ekvation (6).

$$\text{Fjärrvärme varmvatten} = (1.2) - (3.2) - (2.2) \quad (6).$$

På så sätt beräknas hur mycket fjärrvärmens energi stöttar den totala uppvärmningen av tappvarmvattnet. I Tabell 5 och Tabell 6 nedan redovisas resultatet från ekvationerna.

Tabell 5. Resultat av ekvation 3.2 från mätplan. Andel fjärrvärme till rumsuppvärmning.

Fjärrvärme – Ventilation och radiatorer [kWh]		
År	Månad	Energi [kWh]
2023	Maj	0
2023	Juni	0
2023	Juli	0
2023	Augusti	0
2023	September	0
2023	Oktober	0
2023	November	108
2023	December	0
2024	Januari	973
2024	Februari	0
2024	Mars	0
2024	April	0
	Summa	1081

Vid beräkning av ekvation 3.2 från mätplanen blev flera månaders värden negativa. Efter kontroll av styrventilens aktivitet i styrsystemet Webport, från fjärrvärmesidan till värmebatteri- och radiatorsidan, upptäcktes att mätningen var fel. Styrventilen på fjärrvärmesidan har endast varit öppen i november 2023 och januari 2024. Därför har övriga månaders mätvärden antagits till 0 då styrventilen inte varit öppen under övriga månader.

Tabell 6. Resultat av ekvation 2.3 från mätplan. Andel fjärrvärme till tappvarmvatten.

Fjärrvärme – Tappvarmvatten [kWh]		
År	Månad	Energi [kWh]
2023	Maj	7228
2023	Juni	2755
2023	Juli	4371
2023	Augusti	5344
2023	September	5545
2023	Oktober	7777
2023	November	7641
2023	December	7969
2024	Januari	7731
2024	Februari	7560
2024	Mars	7884
2024	April	8576
	Summa	80 381

Beräkningarna i Tabell 6 visar hur mycket fjärrvärme som gått till uppvärmningen av tappvarmvattnet.

Bergvärmepumparnas andel till uppvärmning av tappvarmvattnet fås genom mätare ”UM207 Förvämt tappvarmvatten”, i Curves. I beräkningarna har tappvarmvattenförbrukningen tagits fram enligt tidigare ekvationer och summerats till total tappvarmvattenförbrukning, månadsvis. Varmvattencirkulationen värms till 100% av fjärrvärmens och mätare ”UM208 VVC Fjärrvärme”, har registrerat mätdata. Dessa har sedan summerats månadsvis och utgör baslasten. Det vill säga den energianvändning som är oberoende av väder och vind och därför skall exkluderas ur normalårskorrigeringarna.

Eftersom projekteringen är redovisad i kWh/A-temp har energianvändningen dividerats med husens A-temp. A-temp för respektive hus är 4522 m², då det är två hus och båda husen försörjs av TVV och VVC så har A-temp dubblerats för bägge husen, 9044 m².

Tabell 7. Total baslast för Hus A och B.

År	Månad	Baslast [kWh/m ² , mån]	Baslast [kWh, mån]
2023	Maj	1,5	13 942
2023	Juni	1,4	12 284
2023	Juli	1,3	11 725
2023	Augusti	1,4	12 761
2023	September	1,4	13 071
2023	Oktober	1,6	14 193
2023	November	1,7	15 517
2023	December	1,9	17 234
2024	Januari	2,0	18 293
2024	Februari	1,9	17 109
2024	Mars	1,9	16 947
2024	April	1,8	16 681
	Summa	19,9	179 757

Energiindex som använts vid korrigeringen är för orten Mölnlycke, år 2023–2024. Energianvändningen divideras med korrigeringsfaktorn månadsvis. Detta har gjorts för respektive värmekälla; radiatorer för hus A och B samt värmebatteriet enligt ekvation (7).

$$\frac{\text{Uppmätt energianvändning}}{\text{Korrigeringsfaktorn}} = \text{Korrigerad energianvändning} + \text{baslast} \quad (7).$$

När total uppmätt energianvändning dividerats med korrigeringsfaktorn adderas baslasten igen. Vanligtvis adderas även fastighetselen till den normalårskorrigerade energianvändningen men detta bortses ifrån då examensarbetet endast fokuserar på energianvändningen. SMHI sammanställer korrigeringsfaktor utifrån varje år jämfört med ett normalår, faktorn går under SMHI:s upphovsrätt och äganderätt och får därför inte delas i rapporten.

Tabell 8. Total energianvändning över Hus A och B ink. baslast, före och efter normalårskorrigerad.

År	Månad	Totalt utfall före korrigerad. [kWh/m ²]	Totalt utfall – normalårskorrigerad. [kWh/m ²]
2023	Maj	2,6	2,9
2023	Juni	1,4	1,4
2023	Juli	1,3	1,3
2023	Augusti	1,4	1,4
2023	September	1,4	1,4
2023	Oktober	5,9	5,8
2023	November	10,3	9,3
2023	December	12,4	11,8
2024	Januari	14,7	13,5
2024	Februari	11,3	12,6
2024	Mars	9,8	10,8
2024	April	6,8	6,7
	Totalt	79,3	78,9

I tabellen ovan har A-temp på 4522 m² har dividerats med radiatorer Hus A respektive Hus B. Då värmebatteriet försörjer båda husen så gjordes antagandet samt förenklingen där värmebatteriet försörjer bägge husen lika mycket, 50/50. Värmebatteriet har därför dividerats med dubbel A-temp, 9044 m².

6 Resultat

I detta kapitel presenteras jämförelsen mellan faktiska utfall och projekteringen.

6.1 Beräkning av SCOP

Bergvärmepumparnas årsvärmefaktor beskrivs genom SCOP och anger dess effektivitet under ett år. Genom att dividera värmen som genererats med elen som krävts får man ett genomsnitt på hur väl bergvärmepumparna presterat. Till följd av att elmätaren i bergvärmepump 1 inte loggat värden stora delar av året gjordes följande antagande:

- Värmen som vardera bergvärmepump tagit från borrhålen är proportionell mot dess elanvändning

Eftersom erhållen värme från båda bergvärmepumparna loggats och även elanvändningen för bergvärmepump 2 kunde elanvändningen i bergvärmepump 1 beräknas och därefter SCOP. Detta gick till på följande sätt:

1. Uttagen värme från borrhålen till bergvärmepump 1 uppgick till 85,5% av uttagen värme till bergvärmepump 2.
2. Denna andel multiplicerades med elanvändningen för bergvärmepump 2 vilket gav elanvändningen i bergvärmepump 1.
3. Därefter summerades den totala värmen som bergvärmepumparna genererat och dividerades med totala elanvändningen.

I Tabell 9 redovisas skillnaden på värdet från elmätaren i pump 1 före och efter korrigeringen. Värdet på SCOP i projekteringen uppgick till 4,3 medan det beräknade värdet hamnade på 4,7. Eftersom SCOP är kvoten av den värme som erhålls och mängd el som tillförs innebär en ökning av SCOP att någon av dessa faktorer ändrats. Frikylan var inte med i projekteringen när värdet 4,3 sattes, detta gör att jämförelsen blir något missvisande. Faktum kvarstår att SCOP har höjts vilket är energieffektivt.

Tabell 9. Ingående data för beräkning av SCOP till bergvärmepumpar.

	Energi innan korrigerig [kWh]	Energi efter korrigerig [kWh]
Elmätare bergvärmepump 1	8216	34 723
Elmätare bergvärmepump 2		40 577
Total el		75 300
Total värme från pumpar		351 146
SCOP = total värme / total el		4,7

6.2 Jämförelse av solhybrider och projektering

I projekteringen har man uppskattat att en solhybrid ska generera 2500kWh per år enligt erfarenhetstal från solhybridsleverantören. Under första året i drift uppmättes återladdningen till totalt 467kWh per solhybrid vilket motsvarar 18,7% av det projekterade värdet. Totalt för alla 69 solhybrider innebär detta ett projekterat värde på 172,5 MWh och ett uppmätt värde på 32,3MWh, vilket visas i stapeldiagrammet i Diagram 2.

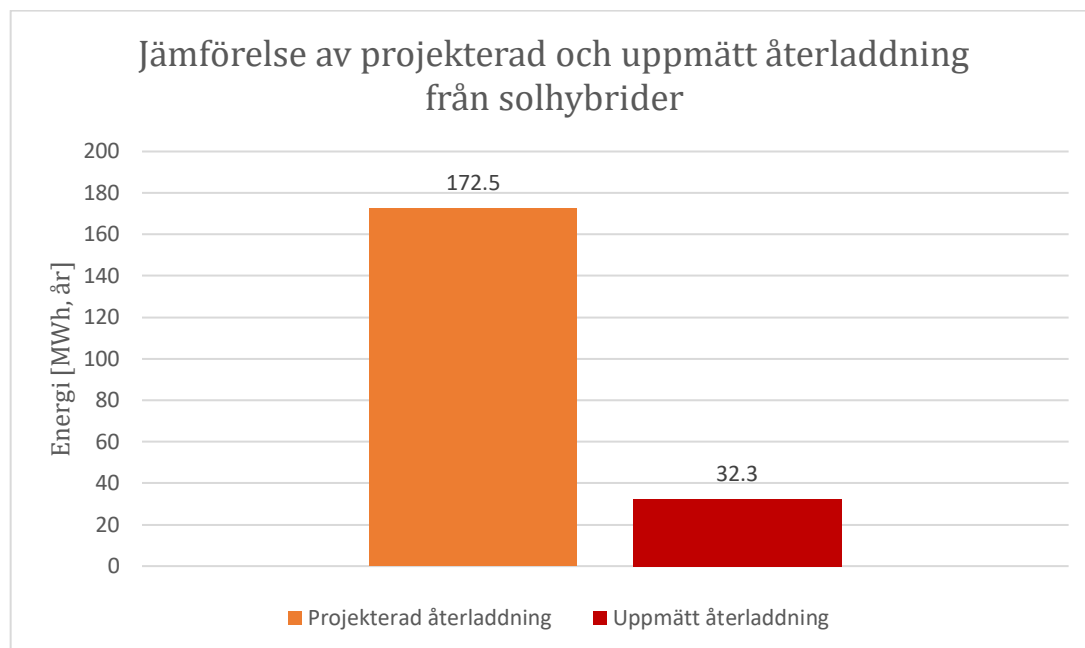


Diagram 2. Total summering av uppmätt återladdning från solhybrider jämfört mot projektering.

Vid sammanställning av projekterad och uppmätt återladdning från solhybriderna får man resultat enligt Diagram 3.

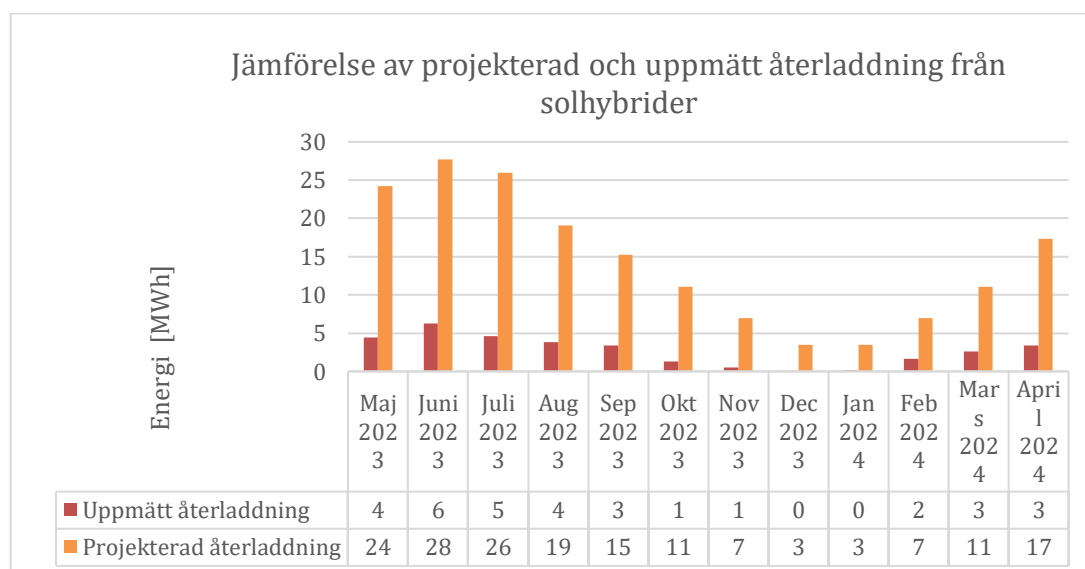


Diagram 3. Månadsvis jämförelse av solhybridens återladdning jämfört med projektering.

Ser man på de månader som genererat mest utmärker sig de varmare månaderna maj, juni och juli. Ser man till de månader som genererat minst värme utmärker de kallare månaderna sig då nästan ingen återladdning skett. Där december och januari gett de

lägsta värdena med en summering på 3% respektive 4% av sitt projekterade värde. Det ska nämnas att dessa månader är de som förväntas leverera minst enligt projekteringen.

Notera att siffrorna ovan endast är från solhybriderna. Kylbatteriet som tillkom i ett senare skede av projekteringen bidrar också med värme till borrhålslagret. Som tidigare nämnt i kapitel 4.2 finns inga beräkningar angående förväntad återladdning på detta. Därav jämförs både kylbatteriet och solhybriderna mot projekteringen som gjordes för solhybriderna. Stapeldiagrammet nedan visar mängden återladdning kylbatteriet gett ställt mot projekteringen för solhybriderna.

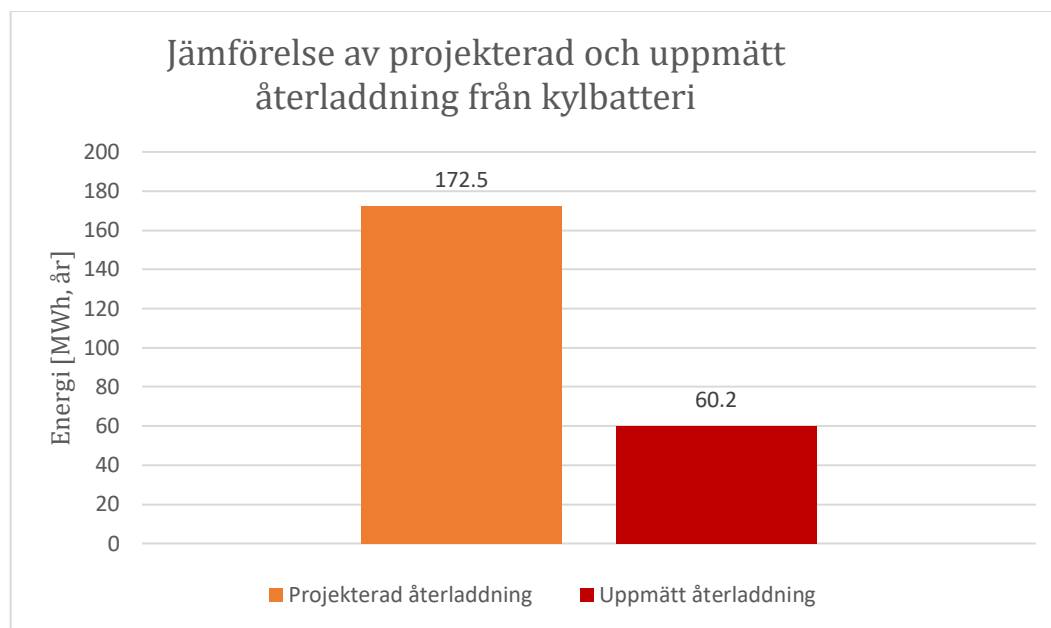


Diagram 4. Total sammanställning av återladdning från kylbatteri jämfört mot solhybridens projekterade återladdning.

En månadsvis fördelning ger resultatet som gestaltas i Diagram 5. Likt solhybriderna är det de kallare månaderna som stöttar borrhålslagret minst. Eftersom kylning av bostäderna inte krävs vintertid är detta också något som kan förväntas. Med tanke på att körning av kylbatteriet vid låga temperaturer är ofördelaktigt sker ingen återladdning i november och december samt ytterst lite i januari och februari. Högst återladdning sker i augusti och september där de kommer upp i 60% respektive 67% av projekterat värde.

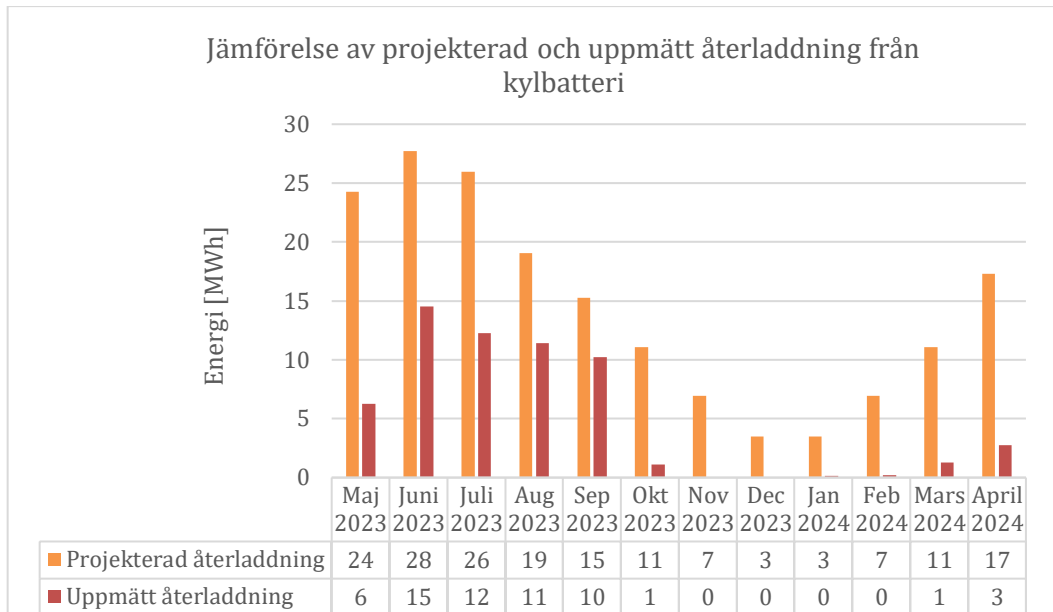


Diagram 5. Månadsvis sammanställning av uppmätt återladdning från kylbatteri jämfört mot projektering för solhybrider.

6.3 Återladdning och borrhålslager

Vid summering av uppmätta värden från solhybriderna och kylbatteriet fås den totala återladdningen av borrhålslagret. Värdet motsvarar då 53,5% av projekteringen vilket visas i Diagram 6 nedan.

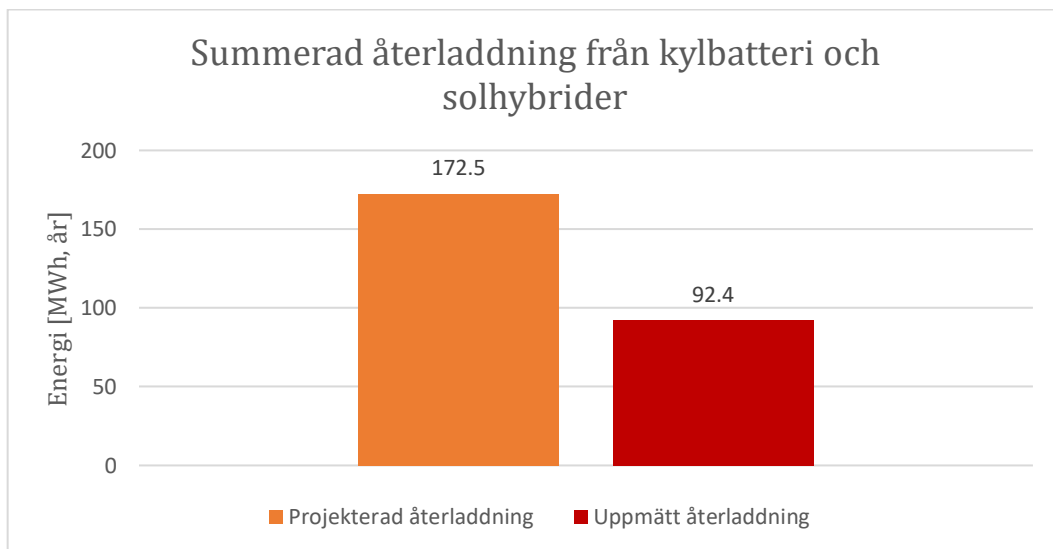


Diagram 6. Total sammanställning av uppmätt återladdning från solhybrider och kylbatteri jämfört mot projektering.

Fördelningen mellan kylbatteri och solhybrider visas i mängden värme från kylbatteriet och solhybriderna över undersökt period är 60,2 MWh respektive 32,3 MWh. Kylbatteriet som kom in så sent i projektet och därför saknar projektering står för nästan dubbelt så mycket återladdning som solhybriderna.

För en mer djupgående analys visas i en jämförelse av kylbatteriet och solhybridernas återladdning över perioden som undersökts. Det är redan konstaterat att kylbatteriet totalt sett återladdat mer än solhybriderna. Ser man däremot till månadsfördelningen finns det undantag. I oktober-december samt februari-april ger solhybriderna mer. Den period som bidrar till kylbatteriets omfattande del av den totala återladdningen är månaderna maj-september. Sammanfattat innebär detta att under den kallare delen av året är solhybriderna bättre medan under varmare delar av året är kylbatteriet bättre och återladdar då mer än solhybriderna. Kylbatteriet är inte i gång kalla vinterdagar. Detta beror på att man inte vill kyla lägenheterna vid dessa tillfällen. Solhybriderna påverkar inte temperaturen i lägenheterna och kan därför köras även vid kalla utetemperaturer.

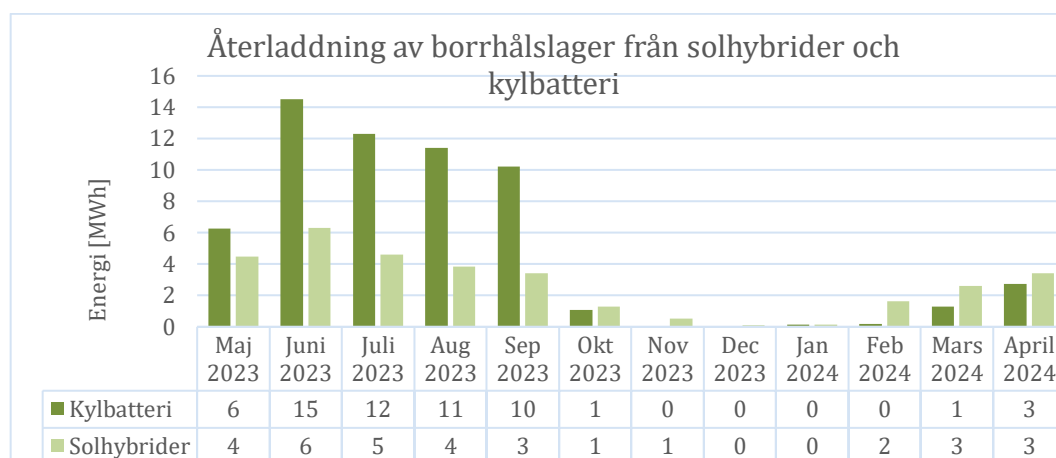


Diagram 7. Månadsfördelning över uppmätt återladdning från solhybrider och kylbatteri.

Summeras kylbatteriet och solhybriderna fås ett resultat enligt Diagram 8 där även medeltemperaturen på returen från borrhålen är inkluderad. Över året kan det konstateras att fördelningen av de uppmätta värdena följer projekteringen någorlunda. Däremot finns det på vissa ställen stora skillnader mellan projektering och faktiskt utfall. Detta gäller främst för de kallare månaderna oktober 2023 – januari 2024 vilket även är då medeltemperaturen i borrhålen är som lägst på -0,6 grader.

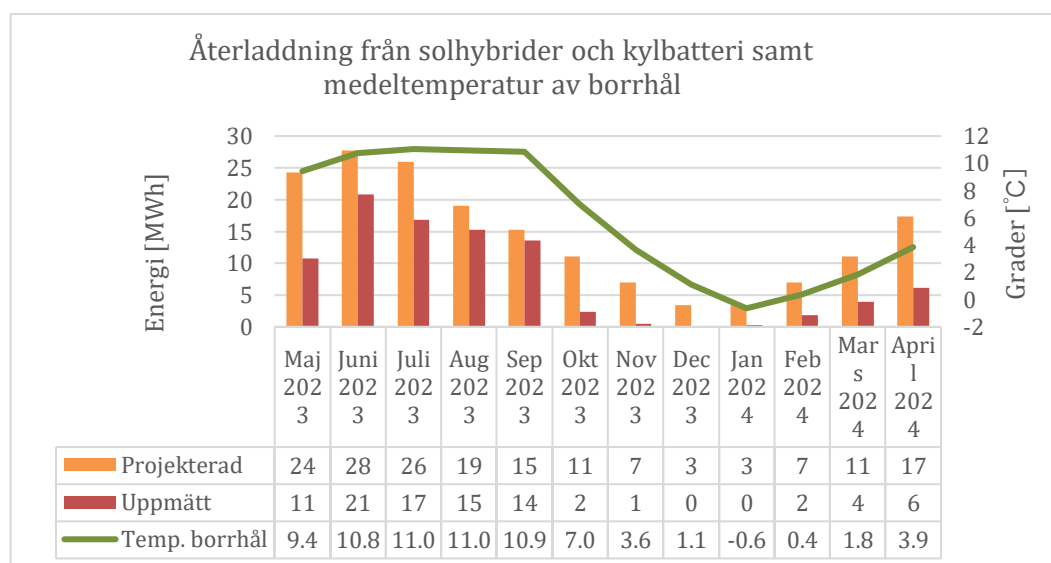


Diagram 8. Månadsvis summering av projektering och uppmätt återladdning i relation till borrhålens temperatur.

Diagram 9 och Diagram 10 nedan visar återladdning i förhållande till bergvärmepumparnas uttag från borrhålen. Denna indata har använts vid EED-beräkningarna som beskrivs i kapitel 6.3.1.

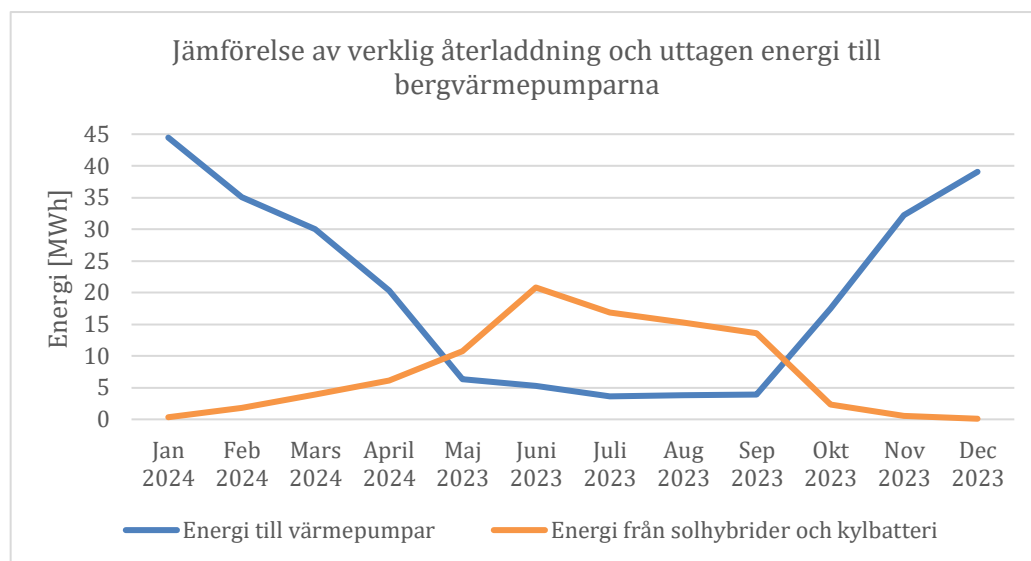


Diagram 9. Uppmätt återladdning och uttagen energi från borrhålen under undersökt period.

Diagram 9 visar värmeuttag från borrhålen till värmepumparna i relation till den återladdning som kommer från solhybriderna och kylbatteriet summerat.

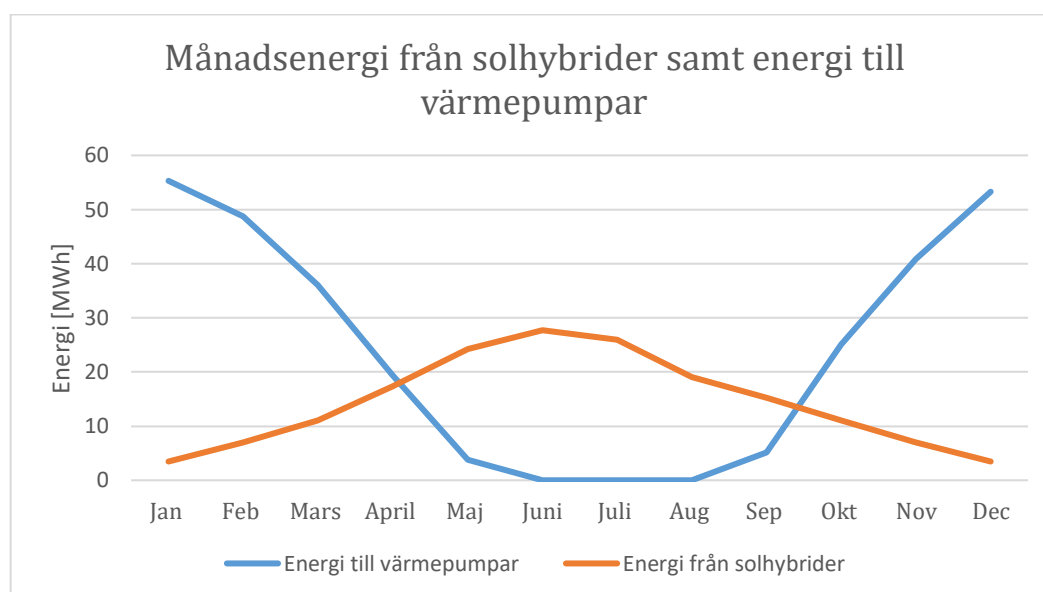


Diagram 10. Projektering över förväntad återladdning från 69st solhybrider och energiuttag från borrhålen under årets månader.

Diagram 10 visar det projekterade värmeuttaget och återladdningen under ett år. Som tidigare omnämnt var inte kylbatteriet medräknad till återladdningen i projekteringen. Enligt kurvan ovan har projekteringsens EED-simulering över borrhålslagret utförts. I jämförelse mellan de två kurvorna skiljer sig utfallet från projekteringen. Belastning på borrhålslager i form av värmeuttag och återladdning är något som används vid EED-simuleringen, mer om detta nedan i 6.3.1.

6.3.1 EED-beräkningar

De resultat som presenterats ovan har stor inverkan på borrhålsdraget. I följande avsnitt presenteras resultaten av de två nya EED-beräkningar som gjorts. Den första körningen i EED motsvarar projekteringen medan den andra baseras på data från det verkliga utfallet. Indatan som skiljer sig från dessa två körningar visas i Tabell 10. Värmeuttaget har ökat och återladdningen minskat samtidigt som SCOP:n stigit.

Tabell 10. Skillnad i indata för projektering och utfall till EED-beräkning.

Indata till EED	EED - projekterade värden	EED - verkligt utfall
Värmeuttag	288 MWh	351 MWh
Återladdning	180 MWh	92,4 MWh
SCOP	4,3	4,7

Diagrammen nedan är utdrag från körda simuleringar i EED där tid och temperatur återfinns på x- respektive y-axeln. I Diagram 11 och Diagram 12 redovisas temperaturvariationen på köldbäraren under årets månader, det 25:e året.

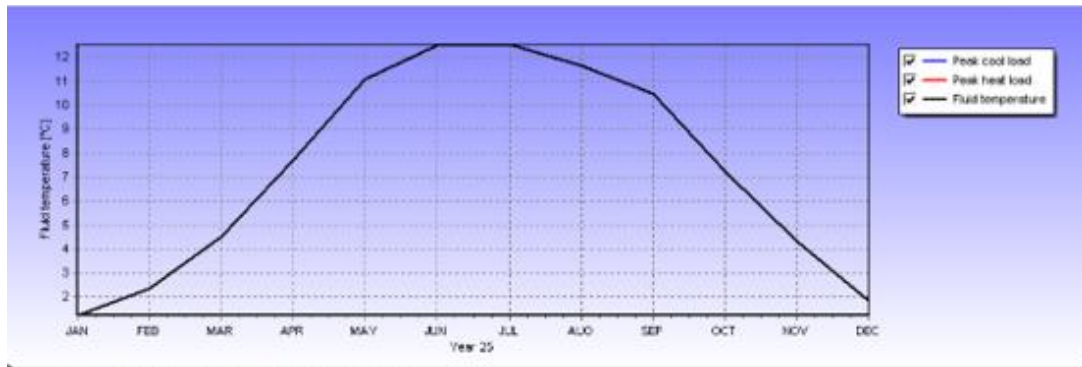


Diagram 11. EED-simulering från projektering, visar temperaturvariationen under ett år det 25:e året.

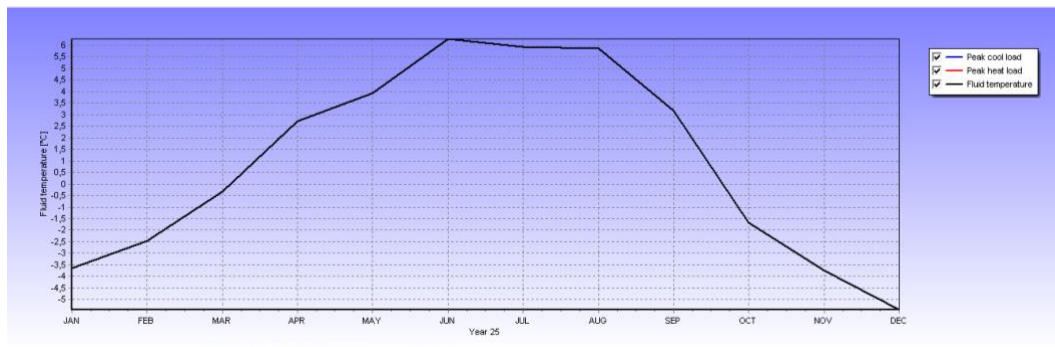


Diagram 12. EED-simulering baserad på indata från verkligt utfall, visar temperaturvariationen under ett år det 25:e året.

Diagram 13 och Diagram 14 visar variationen av den högsta och lägsta medel köldbärartemperaturen förändras över 25 år.

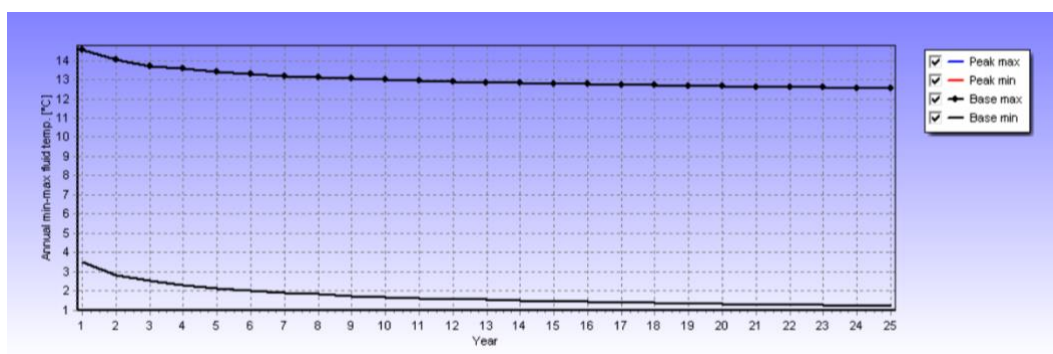


Diagram 13. EED-simulering över projektering, visar temperaturvariation under 25 år.

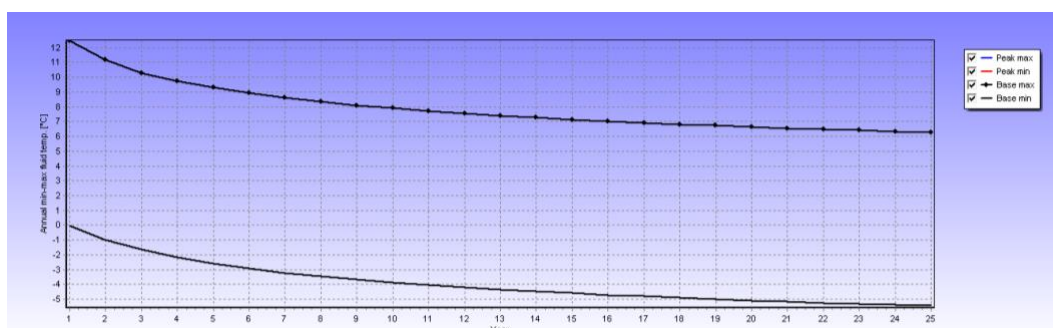


Diagram 14. EED-simulering baserad på indata från verkligt utfall, visar temperaturvariation under 25 år.

I Tabell 11 sammanställs skillnaderna mellan resultaten av de två EED-simuleringarna. I EED-simuleringen där indatan är baserad på det verkliga utfallet påvisas lägre temperaturer i samtliga fall jämfört med projekteringen. Därutöver sker temperatursänkningen snabbare än förväntat. Det är naturligt att temperaturen minskar med tiden i ett borrhål, med återladdning förväntas dock nedkylningen ske långsammare så att värmebehovet från borrhålet tillgodoses en längre period. Alltför låga temperaturer ger dåliga förutsättningar för drift av värmepumparna. I siffror innebär 1 grads sänkning på köldbäraren 2–3% sänkning av värmepumparnas COP (Acuña, 2013).

Tabell 11. Skillnad mellan resultat av nya EED-beräkningar.

	EED-simulering av projektering	EED-simulering av verkligt utfall
Max köldbärartemperatur år 1	15,0	12,5
Min köldbärartemperatur år 1	3,5	0,0
Max köldbärartemperatur år 25	12,5	6,5
Min köldbärartemperatur år 25	1,0	-5,5

6.4 Jämförelse av energianvändning & dess fördelning

Rumsuppvärmning

Nedan presenteras diagram över den totala energianvändningen för respektive hus, resultatet redovisas i kWh/A-temp. Värmen inkluderar respektive byggnads radiatorsystem och en antagen 50/50 fördelning av värmebatteriet på bägge husen. I Diagram 15 är energianvändningen för Hus A summerad efter utförd normalårskorrigerat jämfört mot projektering. Diagram 16 visar Hus B summering.

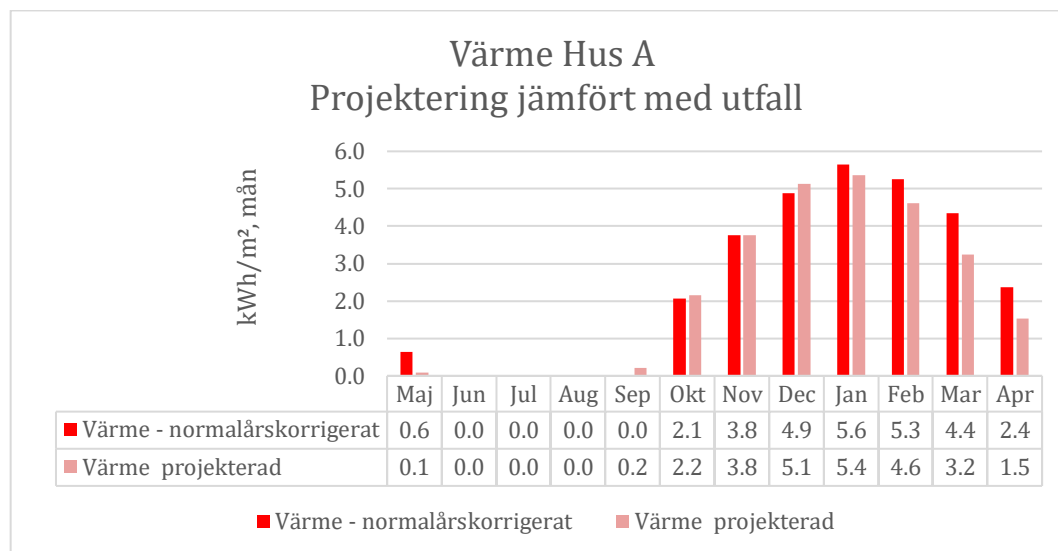


Diagram 15. Månadsvis summering av normalårskorrigerad värme jämfört mot projektering för Hus A.

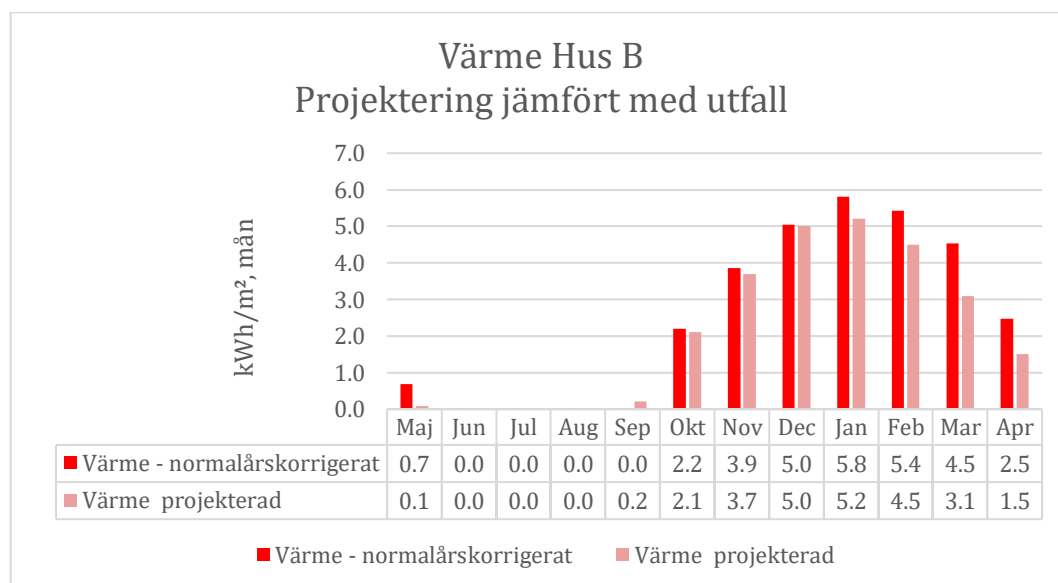


Diagram 16. Månadsvis summering av normalårskorrigerad värme jämfört mot projektering, Hus B.

I de två diagrammen stämmer projekteringen överens relativt bra de flesta månader med normalårskorrigerat resultat för första årets drift. Båda husen har under första året överstigit projekteringen för värme, Hus A med 11% och Hus B med 18%. Månadsfördelningen visar att Hus A stämmer bättre överens med projekteringen under vintermånaderna jämfört med Hus B.

Tappvarmvatten

För den totala andelen tappvarmvattnet till Hus A och B så uppgår utfallet till 74% av projekteringen. Total summering av uppmätt TVV uppgår till 33,1 kWh/m² alltså ca 150 MWh. Projekteringen var beräknad till 45 kWh/ m² alltså 203,5 MWh. Där A-temp är 4522 m².

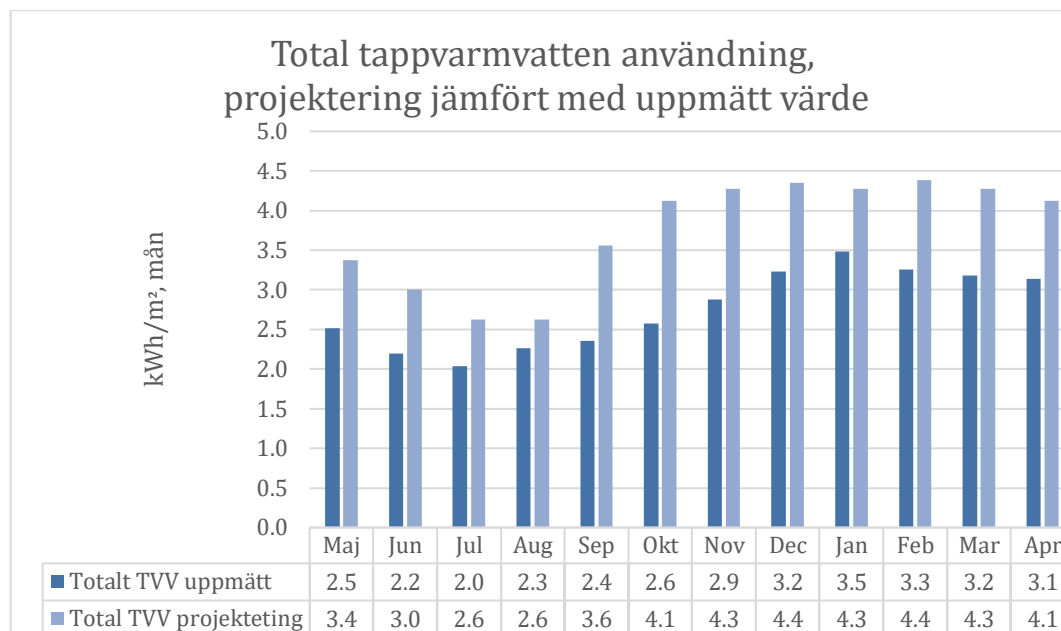


Diagram 17. Månadsvis summering av TVV jämfört med projektering.

Summerad energianvändning

Den verkliga energianvändningen under första driftåret visas i Diagram 18. Notera att VVC inte är inkluderad eftersom det inte var med i projekteringen som resultatet jämförs med. Här jämförs tappvarmvattnet för båda husen samt dess värmeförsörjning summerat jämfört med projekteringen för både Hus A och B.

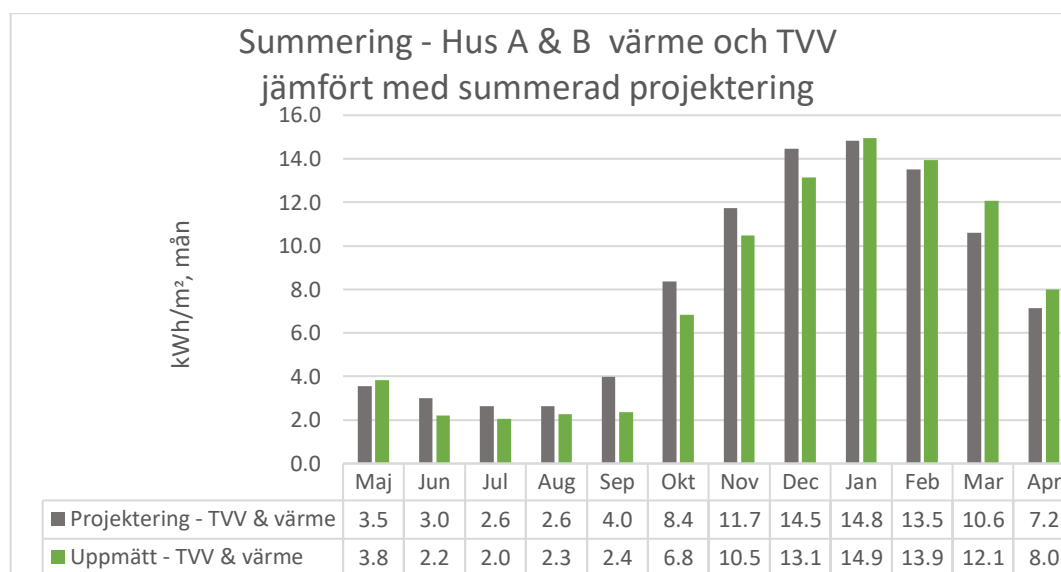


Diagram 18. Månadsvis summering av husens totala energianvändning jämfört mot projektering.

Rumsuppvärmningsbehovet har under det första året överstigit projekteringen medan tappvarmvattnet varit lägre än teoretiskt beräknat utfall. Vid summering av det totala utfallet uppgår den normalårskorrigerade värmen och det uppmätta tappvarmvattnet

till 95% av projektering. 416,5 MWh summeras första driftåret till jämfört mot projekterings 436 MWh.

6.5 Procentuell fördelning av värmesystem

Fördelningen över fjärrvärme- respektive bergvärme till värmesystemet presenteras för att ge en övergripande bild av projektering jämfört mot utfall. Nedan presenteras diagram över den procentuella fördelningen av hela systemet samt tappvarmvattnet och rumsuppvärmningen.

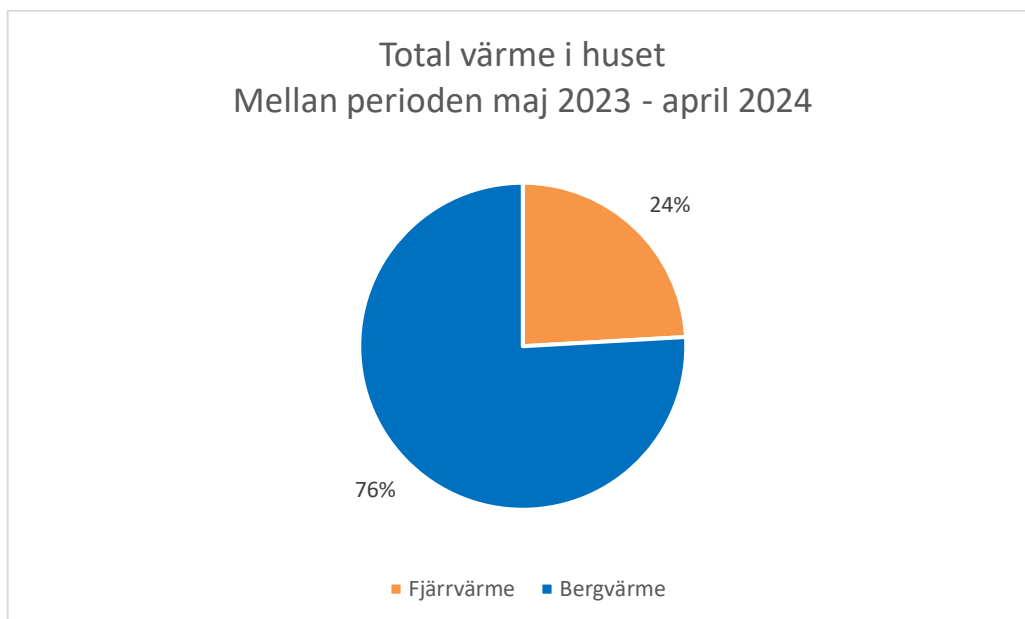
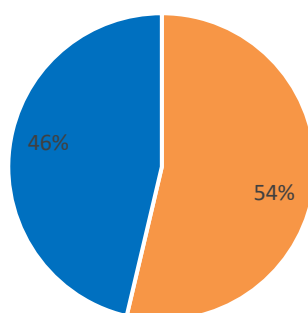


Diagram 19. Procentuell fördelning av värmekälla för total värme i husen.

I Diagram 19 ovan redovisas den totala värmen i husen sett till vilken värmekälla som försör systemet. Summeringen inkluderar TVV, VVC samt uppvärmning för radiatorer och värmebatteri i luftbehandlingsaggregatet. Där fjärrvärmen stöttar VVC till 100%, en del av TVV samt spetslast till radiatorsystem och värmebatteri under de kalla vintermånaderna. Bergvärmen går främst till radiatorsystemen och värmebatteriet men även till att förvärma TVV. Totalt sett är bergvärmen i husen den största värmekällan och försör 76% av behovet medan resterande 24% värme kommer från fjärrvärmen.

Fördelning av total uppvärmning till TVV
Mellan perioden maj 2023 - april 2024



■ TVV Fjärrvärme ■ TVV Bergvärmepump

Diagram 20. Procentuell fördelning över uppvärmning till TVV.

I Diagram 20 utläses tappvarmvattnet stöts till 46% av bergvärmepumparna i de förvärmda slingorna via ackumulatortanken. Resterande 54% stöts av fjärrvärmen i fjärrvärmeväxlaren. I projekteringshandlingen över energi och effekt för bergvärme beräknades värmepumpen stötta TVV mellan 20–35% under uppvärmningssäsong. Resterande månader har fjärrvärmen beräknats täcka behovet, där även VVC: n inkluderades. Under det undersökta driftåret har TVV stöttats mer av bergvärmen än projekteringen beräknat. Notera att VVC inte är med i diagrammet ovan då den stöttats till 100% av fjärrvärmen. Tabellen nedan över den totala andelen TVV i husen ger en bättre bild över hur fördelningen sett ut i jämförelse mot projekteringen. Enligt projekteringen så har 35% antagits för andelen bergvärme i jämförelsen nedan.

Tabell 12. Procentuell skillnad av projektering jämfört med utfall för TVV.

	Projektering	Uppmätt [MWh]	Procentuell skillnad [%]
TVV exkl. VVC	204 MWh	149,4	73
Bergvärme	71,4MWh TVV 35%	69,4, TVV	97
Fjärrvärme	132,6 MWh TVV 65%	80 MWh, TVV	60

Den totala andelen bergvärme i jämförelse mot projekteringen fås till 97% och fjärrvärmen till 60% med antagandet enligt projektering att TVV förses till 35% av bergvärme. Totalt sett har den undersökta perioden uppgått till 73% av den totala projekteringen för TVV som var beräknat till 204 MWh.

I Tabell 13 redovisas projekteringen över VVC jämfört med utfall under det första driftåret. VVC uppgår till 83% av projekteringen.

Tabell 13. Procentuell skillnad av projektering jämfört med utfall för VVC.

	Projektering	Uppmätt [MWh]	Procentuell skillnad [%]
VVC	36 MWh	30 MWh	83

I projekteringshandlingen, ” Geoenergilager Skogsvaktaren rev_2021-08-26” presenteras energi- och effektberäkningar för bergvärme. I dokumentet finns projekterad energianvändning för de olika delarna i värmesystemet. För ventilation och rumsuppvärmning var bergvärmepumparna beräknade att täcka 60–70% effektmässigt av dimensionerande behov. Uppskattat totalt uppvärmningsbehov var beräknat till 236 MWh exklusive TVV och VVC. Energimässigt klarade bergvärmepumpen i projekteringsberäkningarna av att täcka ca 98% av behovet. En förenkling gjordes och i projekteringen sades det att bergvärmepumparna har en energitäckning på 100%.

Sett till fördelningen för den undersökta perioden så stämmer projekteringen väl överens med utfallet.

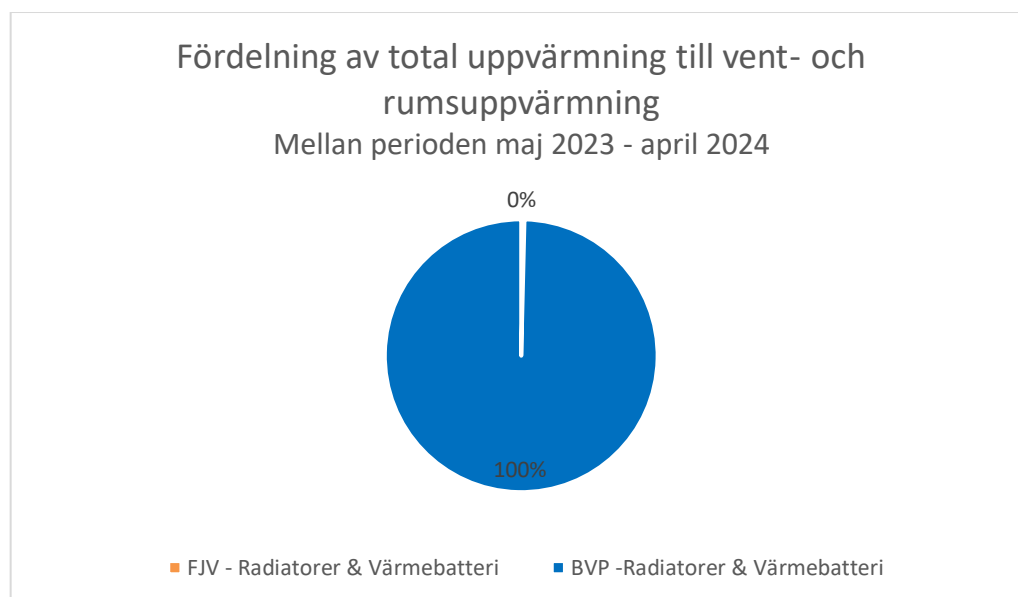


Diagram 21. Procentuell fördelning av total rumsuppvärmning till Kv. Skogsvaktaren.

I Diagram 21 ser det inte ut som fjärrvärmen spets lastat värmesystemet men i Diagram 22 nedan ser man att 1% av fjärrvärmen gått till rumsuppvärmning och ventilation.

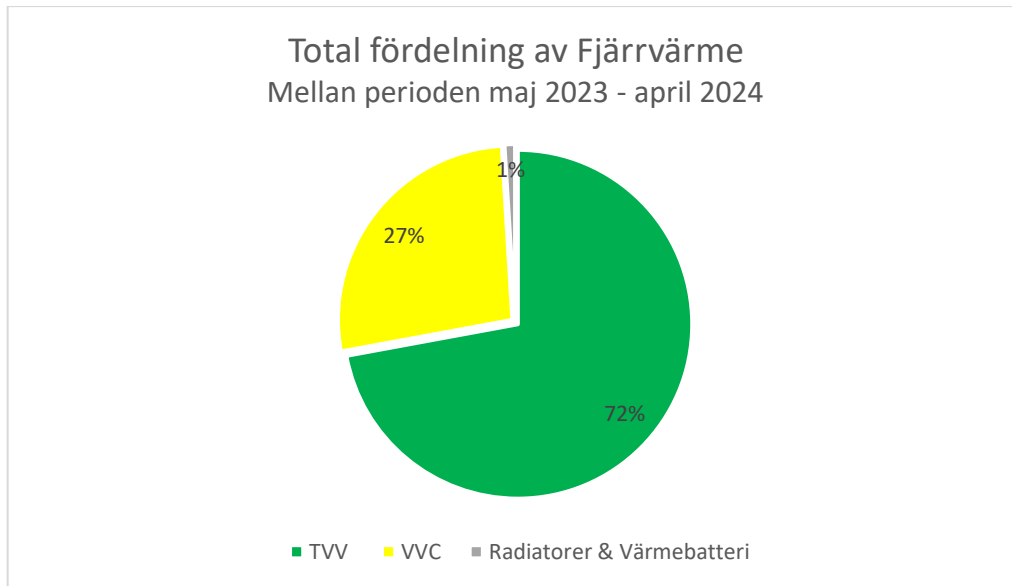


Diagram 22. Procentuell fördelning av fjärrvärme till Kv. Skogsvaktaren.

Ovan visas den totala fördelningen av fjärrvärmen och vilka delar i värmesystemet som den gått till. 72% går till uppvärmning av tappvarmvatten i fjärrvärmväxlaren. 27% av den totala andelen fjärrvärmen försörjer varmvattencirkulationen. 1% av fjärrvärmen spetsas till radiatorsystemet och värmebatteriet under vintermånaderna, november 2023 och januari 2024.

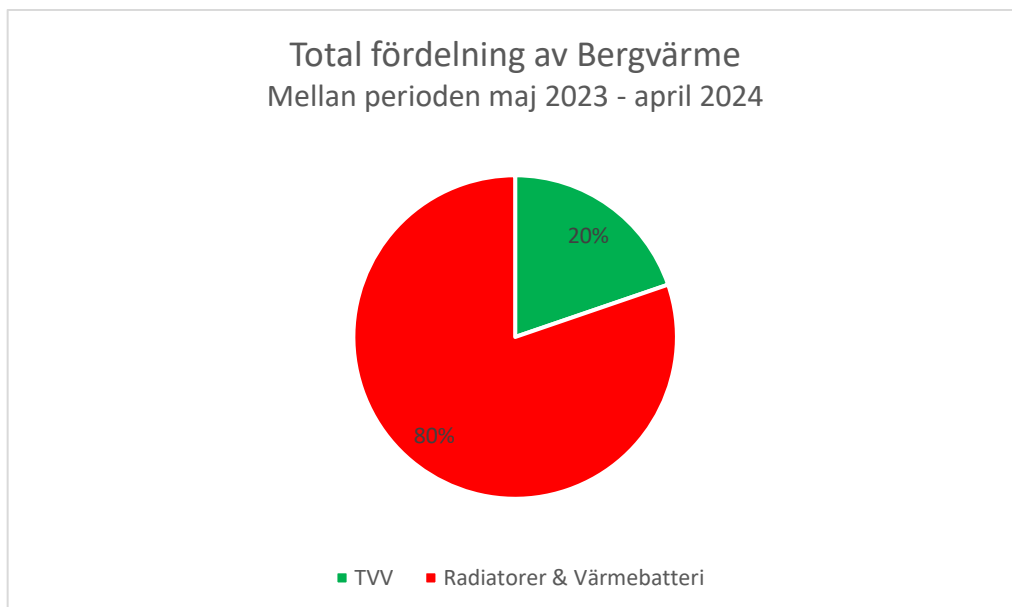


Diagram 23. Procentuell fördelning av bergvärme till Kv. Skogsvaktaren.

I Diagram 23 presenteras den totala fördelningen av bergvärmen i Skogsvaktaren. 80% av all producerad bergvärme försörjer radiatorsystemen i Hus A och B samt värmebatteriet. Medan resterande 20% går åt för att förvärma tappvarmvattnet via ackumulatortanken.

7 Förslag på åtgärder

I detta kapitel presenteras förslag på åtgärder för optimering av systemet. I syfte att underlätta för läsaren att förstå vad föreslagna åtgärder grundar sig i ges även en kort sammanfattning av resultatet.

7.1 Sammanfattning av resultat

Jämförelsen mellan projektering och utfall av den undersökta perioden (maj 2023 – april 2024) mynnade ut i följande resultat. Den totala återladdningen från solhybriderna och kylbatteriet motsvarade 18,7% respektive 34,9% av det projekterade värdet, summerat innebär detta 53,6%. Månadsfördelningen speglar dessa siffror då återladdningen som regel inte motsvarar projekteringen. Undantag sker de varmare månaderna men även då är summerade värden av solhybriderna och kylbatteriets återladdning lägre än projekteringen.

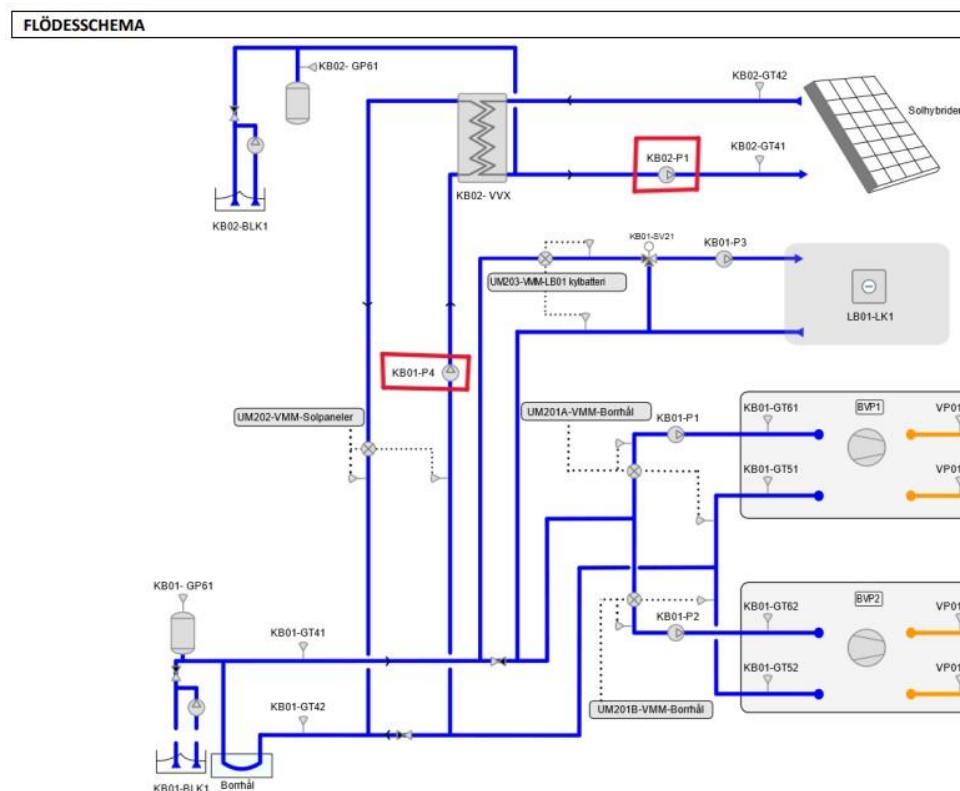
Sett till energianvändningen och fördelningen över husen stämmer den generellt bra överens med projekteringen. Totalt sett har värmen i husen stöttats av bergvärme till 76% och av fjärrvärme till 24%. För rumsuppvärmningen i både Hus A och Hus B överstiger energianvändningen projekteringen med 14,6%. För tappvarmvattnet har utfallet understigit projekteringen med 26%. Summerat uppgår den normalårskorrigerade rumsuppvärmningen i form av radiatorer och värmebatteri samt tappvarmvattnet till 95% av det projekterade värdet. Utfallet av SCOP:n överstiger projekteringen, där ett teoretiskt värde på 4,3 använts som indata medan undersökt periods utfall hamnade på ett värde av 4,7.

Temperaturen i borrhålslagret under det undersökta året har varierat. Medeltemperaturen i borrhålen var som högst 11 grader i juli och augusti och som lägst -0,6 grader i januari. Den uppmätta återladdningen har visats understiga projekteringen samtidigt som värmeuttaget från borrhålen ökat. Med detta som indata till EED-simuleringen väntas temperaturen sänkas succesivt till ett lägsta värde på -5,5 grader efter 25 år i drift. Om åtgärderna enbart utgår från EED-simuleringen skulle det behöva vidtas åtgärder för att höja temperaturen i borrhålen. Ser man dock till den verkligt uppmätta temperaturen i borrhålen som undersökts samt att återladdningen förväntas öka med tiden krävs inte lika drastiska åtgärder. Med denna bakgrund baseras de åtgärder som föreslås på två olika scenarion. Det första där utgångsläget är efter de förutsättningar som finns i dagsläget och det andra där potentiella framtida problem beaktas. De åtgärder som ges riktas främst till att fokusera på hur återladdningen av borrhålen kan öka samt hur värmeuttaget från dessa kan minska.

7.2 Aktuella åtgärder

För att minska belastningen på borrhålen i dagsläget är en åtgärd att minska värmeuttaget till bergvärmepumparna. Som ersättning för denna minskning till pumparna kan fjärrvärmen till husen öka. I nuläget stöttar fjärrvärmen främst VVC och TVV men vid minskning av bergvärmen hade fjärrvärmen fått ökad stöttningen till rumsuppvärmningen. Resultatet från undersökt period visar totalt hur andelen fjärrvärme kontra bergvärme som använts varit relativt låg sett till tappvarmvattnets uppvärmning. Förslaget om att använda mer fjärrvärme kan bidra till både TVV och rumsuppvärmning. Detta förslag blir en fråga om ökade kostnader för fastighetsägaren.

För solhybriderna har ett antal åtgärder undersökts varav en var att ändra styrningen på solhybriderna. Under arbetets gång noterades att kall vätska leddes ner i borrhålen vid några enstaka tillfällen. Denna upptäckt visade sig bero på ett fel i styrningen av systemet. Pumparna KB02-P1 och KB01-P4, markerade i rött i Figur 11, bör ha annorlunda startvillkor. För tillfället ger KB02-P1 starttillstånd direkt till KB01-P4 vilket gör att oavsett temperaturer på vätskan sker värmeväxling där emellan. Kall vätska kan då pumpas direkt ner i borrhålen. Om styrningen ändras så KB02-P1 startar när en viss temperaturskillnad uppnåtts för att därefter ge starttillstånd till KB01-P4 hade återladdning kunnat säkerställas. Det var så systemet inledningsvis var tänkt att styras men under arbetets gång har det visat sig att styrningen inte fungerar som tänkt. Med ändrade startvillkor i styrsystemet kan denna funktion säkerställa att ingen nedkyld köldbärare går ner till borrhålen vintertid. Det ska nämnas att detta endast sker under korta perioder och att en ändring av styrning hade skapat marginella skillnader i återladdningen totalt sett.



Figur 11. Flödesschema över kalla sidan i Kv. Skogvaktaren. Pumparna för styrning av solhybrider inringat.

Ett annat alternativ för ökad återladdning som undersökts är en ändring av styrningen av solhybrider och kylbatteri så att de körs säsongsvist. Till följd av att kylbatteriet genererat mer värme än solhybriderna vissa månader och vice versa hade ett alternativ varit att köra dessa omväxlande i olika perioder. En säsongsbaserad styrning för solhybrider och kylbatteriet hade kunnat leda till en minskad störning mellan de två komponenterna. Vilket i sin tur på sikt hade kunnat generera en ökad återladdning. Denna lösning kräver en vidare utredning och har inte inkluderats i detta examensarbete.

7.3 Framtida åtgärder vid behov

Vid behov av åtgärder 5–10 år in i husens drift föreslås följande punkter för att öka systemets återladdning och effektivitet. Dessa kan komma att bli aktuella om återladdningen även efter en längre tid visar sig fortsatt vara låg jämfört med projekteringen.

Sett till solhybrider så undersöktes möjligheten att installera fler solhybrider till systemet samt ändra placeringen av dessa. I Kv. Skogsvaktaren är solhybriderna idag belägna i ett österläge på ett relativt brant tak. En placering i söderläge hade kunnat generera mer värmeutbyte för solhybriderna. Husens placering och utformning av tak medförde dock att detta inte är ett alternativ för det undersökta objektet.

Som alternativ till ökad återladdning finns andra sätt att höja temperaturen i borrhålen på. Ett av dessa skulle kunna vara att koppla in en kylmedelkylare till systemet. En sådan anläggning placeras utomhus och tar genom fläktar in kall uteluft (Processor AB, u.d.). Genom att ta vara på spillvärmen från kylmedelkylaren kan man överföra värme ner till borrhålen och på så sätt öka återladdningen och höja dess temperatur. På grund av de låga temperaturer som påvisats genom EED-simuleringen efter 25 år hade ett ytterligare alternativ varit att borra fler borrhål efter några år. Placeringen av dessa skulle i så fall behöva beräknas för att förhindra störning av det redan existerande borrhålslagret samt tillgodose värmebehovet som krävs. Ett extra borrhål eller installation av nya komponenter till systemet skulle innebära en stor tilläggskostnad och blir en fråga för fastighetsägaren att ta ställning till.

8 Diskussion och felkällor

Syftet med examensarbetet var att göra en uppföljning av Kv. Skogsvaktarens värmesystem genom att analysera energianvändning och fördelning av denna samt återladdningen av borrhålslagret. I rapporten har beräkningar, resultat och åtgärder för att förbättra systemet redovisats. Härnäst diskuteras den påverkan som felkällorna har haft på resultatet samt för- och nackdelar med de åtgärder som föreslagits. Den del av analysen som skiljt sig mest från projekteringen har visat sig vara återladdningen av borrhålslagret och därför ägnas en stor del av diskussionen till denna punkt.

8.1 Felkällor

För att se hur temperaturen i borrhålen förväntas ändras över tid gjordes en EED-simulering. Som tidigare nämnt har programmet sina begränsningar vilket medför att det är nästintill omöjligt att använda exakt de förhållanden som gäller för Kv. Skogsvaktaren. Ett exempel på detta är ändringen av formationen på borrhålslagret vilket beskrevs i 4.4. Vid EED-simuleringen användes en rektangulär formation bestående av 12 borrhål i stället för 11 eftersom en korrekt formation av borrhålslagret antogs ha en större påverkan än rätt antal borrhål. Det fiktiva borrhålet lades därför till i EED-programmet och det aktiva borrhålsdjupet fördelades på 12 i stället för 11 borrhål. Även om rätt aktiv borrhålslängd använts frångås det riktiga fallet vid Kv. Skogsvaktaren till följd av begränsningar i programmet.

Tack vare en omfattande mängd mätare i undercentralen fanns ett stort underlag att basera arbetet på. Endast ett fåtal dagar har loggning av data saknats, dessa har då korrigerats vilket beskrivs i 5.1. Avsaknaden av denna data gör att fördelningen av värdena inte exakt stämmer överens med den verkliga. Eftersom detta endast skett vid något enstaka tillfälle skapar det marginella skillnader i arbetets resultat men ska ändå nämnas då det utgör en mindre osäkerhet.

Det ska noteras att detta arbete gjorts under Kv. Skogsvaktarens första år i drift. De data som rapporten baserats på kan alltså ej jämföras med andra år. Mer data hade gett större tillförlitlighet samt möjlighet att utläsa trender. Detta hade underlättat arbetet med att dra gedigna slutsatser om hur systemet kommer bete sig i framtiden.

Projekteringen för solhybriderna baseras på ett erfarenhetstal från solhybridsleverantören som är baserat på tidigare referensprojekt. Detta erfarenhetstal har Wikström fått ta del av vid projektering av solhybriderna. Solhybridernas belägenhet i Kv. Skogsvaktaren kan skilja sig från referensprojektet. När projekteringen för återladdningen gjordes för solhybriderna var inte kylbatteriets återladdning med i projektet. Kylbatteriet har inte någon projektering så en summering av återladdningen från både batteri och solhybrider har genomförts.

8.2 Kv. Skogsvaktarens energianvändning

Nedan presenteras felkällor om uppföljningen av husens energianvändning. Med tanke på att examensarbetet utrett det första driftåret och inte haft tillgång till mer än ett års data är det svårt att dra slutsatser som kan appliceras för systemets livslängd. Trots utförda normalårskorrigeringar så är det komplicerat att basera lösningar helt och hållet efter denna. Vid första året i drift kan injusteringar och olika tester i systemet påverkat husens energianvändning. Om samma uppföljning och utvärdering hade gjorts några år efter driftstart hade en mer rättvis jämförelse mot projekteringen fåtts.

Totalt sett skiljde det endast 5% mellan projektering och utfall för TVV och rumsuppvärmning. Trots detta understeg TVV projekteringen med 26% och Hus A samt B översteg projekteringen med 11% respektive 18%. Anledningen till den stora skillnaden i projektering och utfall för TVV anses vara att standardiserade värden används vid energiberäkningen för projektering. Om energiberäkningen hade baserats på värden från liknande referensobjekt hade detta kunnat leda till mindre skillnader i utfall mot projektering.

För att avgöra rimligheten i data för rumsuppvärmning har en kontroll av husens energianvändning ställts i förhållande till varandra. Dessa har visat sig vara väldigt lika. Hade de däremot skiljt sig mycket emellan dem två husen hade det gått att resonera kring rimligheten över uppmätta värden, då husen är näst intill identiska i sin utformning och storlek.

8.3 Återladdning av borrhålslager

Den faktor som haft störst inverkan på resultatet är att systemet endast varit i drift ett år. Att undersöka återladdning av borrhålslager efter så kort drifttid är inte något som vanligtvis görs. Eftersom fastighetsägaren sett att det varit kallt under vintern i borrhålslagret ville man att en uppföljning skulle göras för att ta reda på vad felet berodde på. Upptäckter under arbetets gång har visat hur styrningen av systemet varit den största anledningen till att det blivit kallt. Dessutom har återladdning av systemet inte kommit upp i sin maxkapacitet ännu. Det krävs att borrhålslagret varit aktivt och belastats i några år innan en analys på prestandan av denna kan leda till mer konkreta slutsatser.

Återladdning är vanligtvis en installation som görs i efterhand i system med bergvärme, när borrhålslagret hunnit kylas ner (Mogensen, 2013). För just solhybrider krävs en kallare returtemperatur för att utbytet mellan hybrider och borrhålslager ska öka. En för varm temperatur från borrhålen minskar solhybridernas möjlighet till återladdning då de presterar bättre utifrån nedkyllning av dess termiska baksida. Varma temperaturer i borrhålen på grund av kort drifttid gör att det inte heller finns ett stort behov av återladdning (K. Samuelsson, personlig kommunikation, 4 Mars, 2024). Utifrån ovan antas återladdningen inte nått sin fulla kapacitet efter 1 år in i drift. Kv. Skogsvaktaren som utretts har haft med installationer för återladdning redan från färdigställande. Det inkluderades i projektet för att slippa tilläggsinstallationer senare, efter byggnation, då man visste att det skulle bli aktuellt för systemet i framtiden. Framst till följd av borrhålens nära placering till varandra men även hur 9

av 11 borrhål är förlagda under ett parkeringsgarage. I det läget som husen står inför nu, ett år in i drift så krävs det inte för systemets prestanda att återladdningen ska vara vid sin maxkapacitet.

Bergvärmen har varit den energikälla som stöttat systemet mest, vilket även projekteringen förutsatt. Utfallet för bergvärme har stämt väl överens med den totala projekteringen även om kyla skickats ner till borrhålen till följd av styrfel vid solhybridernas pumpar. Endast 1% inköpt fjärrvärme har spetsats till rumsuppvärmning och ventilation medan resterande 99% har kommit från bergvärmepumparna med ett SCOP på 4,7. En anledning till ökat SCOP i jämförelse mot projekterat värde kan bero på att kylbatteriets återladdning saknades i projekteringen. Då kylbatteriets retur leds till bergvärmepumparna så höjs temperaturen på förångarsidan vilket medför en större temperaturskillnad till köldmediet i pumparna. Denna temperaturhöjning kräver mindre el till pumparna vilket höjer COP och i sin tur SCOP på bergvärmepumparna.

Åtgärder i nuläget

Den föreslagna åtgärd som bedöms vara mest rimlig för Kv. Skogvaktaren är en ändring av styrningen på solhybridernas pumpar. Startvillkoren för dessa behöver justeras i styrsystemet. Möjligheten att kunna starta pump KB02-P1 i en egen slinga, utan att pump KB01-P4 startar direkt, eliminerar risken för nedkyld vätska att nå borrhålen. Styrningen ska ske genom att det stängda systemet vid solhybriderna pumpas runt med hjälp av KB02-P1. Först när startvillkor nåtts, som uppfyller en viss temperaturskillnad, så startar den andra pumpen. Det är en åtgärd som inte kräver någon ytterligare investering utan kan genomföras direkt. Det säkerställer även att borrhålen inte blir för kalla. Då räcker även den värme som är lagrad i borrhålslagret längre, även om en ökning av denna behövs på lång sikt för systemet om återladdningen inte visar sig öka efter flera års drift.

En annan åtgärd som bedöms bidra till en ökning av den totala återladdningen framöver är en prioritering av styrningen för de olika återladdningskomponenterna. Idag saknas prioritering mellan solhybriderna och kylbatteriets återladdning. Som presenterats i arbetet har det under vissa månader visat sig att solhybriderna presterat bättre jämfört med kylbatteriet och vice versa. Genom att införa en prioritering i styrningen med hjälp av startvillkor för de olika komponenterna så kommer återladdningen kunna maximeras av de existerande installationerna. Solhybrider och kylbatteri går inte att köra till maximal kapacitet samtidigt (K. Samuelsson, personlig kommunikation, 4 Mars, 2024). Det är bättre att köra de två i olika sekvenser. Detta till följd av att solhybriderna körs på returen från bergvärmepumparna. Kylbatteriets återladdning till borrhålen sker efter frikylan använts från borrhålslagret. Där den varma returen från kylbatteriet leds vidare till bergvärmepumparna. Returen ökar inte endast bergvärmepumparnas SCOP men även temperaturen på pumparnas retur som solhybriderna körs på. Då solhybriderna är tänkt att kylas ned från bergvärmepumparnas retur för ett större värmeutbyte kan detta endast ske dagar där utetemperaturen är varmare om frikylan är i gång i systemet samtidigt. Ett exempel på hur en styrning mellan de två komponenterna hade kunnat se ut är genom återladdning från solhybrider under natten vid varma dagar och även vid molniga dagar då kylbehovet är lågt. Kylbatteriets återladdning fungerar endast när behovet för kyla finns i byggnaden. En utredning på en fördelaktig styrsekvens av komponenterna kan leda till en ökning av den totala återladdningen.

Framtida åtgärder

Flera av de presenterade åtgärderna i kapitel 7 medför stora tilläggskostnader för fastighetsägaren. Eftersom systemet är nybyggt och redan innehåller flera avancerade komponenter har en bedömning gjorts där det visar sig att vissa åtgärder är ekonomiskt ohållbara. Detta berör tilläggsinstallationer såsom kylmedelskylare och ökat antal borrhål. Dessa förslag kan ses som generella råd för hur man kan öka återladdning för ett system som blir för kallt. Installation av kylmedelkylare, ökat antal solhybrider och borrhål döms därför bort som åtgärder i nuläget för det undersökta objektets system.

För inkoppling av kylmedelskylare krävs det även ytterligare studier för att säkerställa att inte solhybriderna störs. Det kan möjligtvis finnas en risk att solhybriderna påverkas om temperaturen i berget stiger till följd av kylmedelskylarens återladdning (M. Nyberg, personlig kommunikation, 13 Maj, 2024). Vid den eventuella åtgärden krävs därför en utredning om prioritering av återladdningskomponenterna. En sådan prioritering hade kunnat innebära styrvillkor för när de olika komponenternas återladdning skall ske.

Vid förslaget om en ändrad placering och tilläggsinstallation av solhybriderna ses åtgärderna inte vara tillräckliga för de undersökta husen. Eftersom solhybridernas återladdning inte endast beror på mängden solljus de utsätts för hade en förändring av placering inte resulterat i någon väsentlig skillnad som ökar återladdningen tillräckligt (K. Samuelsson, personlig kommunikation, 4 Mars, 2024). På grund av husens utformning med branta tak är det inte heller aktuellt att installera fler solhybrider eller att ändra plats på det som redan är installerat.

9 Slutsats

Efter analys av solhybridernas återladdning av borrhålslagret konstateras det att återladdningen i jämförelse med projekteringen är låg efter första driftåret. Vid närmare undersökning visade det sig att borrhålen behöver nå en lägre temperatur för att ett större värmeutbyte ska kunna ske. Detta sker som regel inte förrän värmeuttaget från borrhålslagret skett under flera år och det kylts ner och nått sin arbetstemperatur. I och med att även kylbatteriet återladdar borrhålslagret innebär det i dagsläget att solhybriderna inte kan nå sin fulla kapacitet som de var projekterade för.

Till följd av detta delades åtgärder upp i aktuella och potentiella åtgärder som kan behövas i framtiden beroende på hur temperaturen i borrhålen ändras. Examensarbetet mynnar ut i att det i dagsläget finns två åtgärder att ta till i dagsläget för optimering och förbättring av systemet. Styrningen av solhybridernas pumpar bör korrigeras för att undvika att skicka ner kyla till borrhålen. Samt en prioritering mellan kylbatteriet och solhybridernas chans till återladdning, där en utredning av denna prioriteringsordning behöver genomföras. En annan åtgärd som är möjlig att genomföra direkt men som för tillfället inte bedöms vara aktuell är minskning av värmeuttaget till bergvärmepumparna och ökning av fjärrvärmen. Denna åtgärd kan genomföras vid behov om borrhålen en säsong blir för kalla och det blir för kostsamt att köra bergvärmepumparna.

9.1 Vidare studier

Det som påverkat examensarbetets uppföljning mest är den aktuella drifttiden på värmeförsörjningssystemet när arbetet utförts. För vidare studier kring solhybriderna hade det varit intressant att beakta hur de beter sig efter flera år i drift när borrhålens medeltemperatur sänkts. Dessutom hade det varit givande att inkludera solhybridernas generering av el, något som exkluderats i detta arbete. Att undersöka elen, både fastighetsel och solhybridernas, i kombination med att göra en ekonomisk analys hade kunnat leda till slutsatser mer relevanta för till exempel fastighetsägare. En jämförelse mellan det undersökta systemet och ett mer traditionellt system ur ekonomiskt, energimässigt och driftmässigt perspektiv hade också varit intressant att utreda vidare för en slutsats om det undersökta objektets system är lönsamt. Sett till styrningen av solhybriderna och kylbatteriets återladdning hade en fördjupande analys av dessa kunna leda till styrvillkor. Villkoren hade kunnat ge en indikering på hur återladdningskomponenter i samma system bör styras för att nå maximal kapacitet.

10 Litteraturförteckning

- Acuña, J. (2013). Kollektorn. i E. Björk, J. Acuña, E. Granryd, P. Mogensen, J.-E. Nowacki, B. Palm, & K. Weber, *Bergvärme på djupet* (ss. 83-86).
- Andersson, I. (den 12 Februari 2024). *1177.se*. Hämtat från Legionella - Legionärssjuka: <https://www.1177.se/Vastra-Gotaland/sjukdomar--besvar/lungor-och-luftvagar/inflammation-och-infektion-ilungor-och-luftror/legionella/> den 16 Maj 2024
- Björk, E., Acuña, J., Granryd, E., Mogensen, P., Nowacki, J.-E., Palm, B., & Weber, K. (2013). *Bergvärme på djupet; Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar*. Stockholm: Erik Björk KTH Energiteknik och Sebastian Widin US-AB.
- Blocon. (den 1 Februari 2022). *List of 1000+ consultants and universities in 25+ countries that use EED*. Hämtat från buildingphysics.com: https://buildingphysics.com/manuals/eed_users.pdf
- Boverket. (Februari 2005). *Bygga Bra Bostäder*. Hämtat från boverket.se: https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2005/bygga_bra_bostader.pdf den 10 Maj 2024
- Boverket. (den 1 Juli 2017). *boverket.se*. Hämtat från Bearbetning av mätvärden inför normaliseringen: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energi-hushallning/byggnadens-energianvandning-baserad-pa-matning/bearbetning-av-matvarden-infor-normaliseringen/> den 14 Maj 2024
- Boverket. (den 20 Februari 2019). *Miljöcertifieringssystem och LCA*. Hämtat från boverket.se: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljocertifieringssystem-och-lca/> den 9 Maj 2024
- Boverket. (den 10 2021). *Klimatdeklaration av byggnader*. Hämtat från boverket.se: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/klimatdeklaration/> den 9 Maj 2024
- Boverket. (den 15 Augusti 2022). *Normalisering av energianvändningen*. Hämtat från boverket.se: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energi-hushallning/byggnadens-energianvandning-baserad-pa-matning/normalisering-av-energianvandningen/> den 8 Mars 2024
- Boverket. (den 10 Oktober 2023). *Klimatdeklarationens omfattning*. Hämtat från boverket.se: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/>
- Bäckström, L., Eklund, R., & Soleimani-Mohseni, M. (2018). *Formelsamling i energiteknik*. Studentlitteratur.
- Dahlblom, M., & Warfvinge, C. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur.
- Energimyndigheten. (den 21 06 2023). *Sveriges energi- och klimatmål*. Hämtat från energimyndigheten.se: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/sveriges-energi--och-klimatmal/> den 9 Maj 2024
- Eriksson, O. (2004). *Fjärrvärme i ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv*. Gävle: Februari.

- Erlström, M., Mellqvist, C., Schwarz, G., Gustafsson, M., & Dahlqvist, P. (2016). *Geologisk information för geoenergianläggningar - en översikt*. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning.
- Granryd, E. (2013). Så fungerar värmepumpen. i E. Björk, J. Acuña, E. Granryd, P. Mogensen, J.-E. Nowacki, B. Palm, & K. Weber, *Bergvärme på djupet: Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar* (ss. 11-26).
- Granryd, E. (2013). Vilken strömningshastighet är lämplig i en kollektorslang? i E. Björk, J. Acuña, E. Granryd, P. Mogensen, J.-E. Nowacki, B. Palm, & K. Weber, *Bergvärme på djupet*.
- Kovács, P. (2000). *Ackumulatorsystem: en installations- och dimensioneringsguide*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- Lateef Abdulalah, A., Misha, S., Tamaldin, N., & Mohd Rosli, M. A. (den AmirMohd Rosli, F.A Sachit; Lateef Abdulalah, Amira; Misha, Suhaimi; Tamaldin, Noreffendy; Mohd Rosli, Mohd Afzanizam; 12 2019). A Review: Parameters Affecting the PVT Collector Performance on the Thermal, Electrical, and Overall Efficiency of PVT System. *ResearchGate*, s. 43.
- M. Aldubyan, A. C. (den 19 12 2017). Thermal Study of Hybrid Photovoltaic-Thermal (PVT) Solar Collectors Combined with Borehole Thermal Energy Storage Systems. *ScienceDirect*, s. 7.
- Mitsubishi electric. (u.d.). *mitsubishielectric.se*. Hämtat från Hur mycket låter en luftvärmepump egentligen?: <https://mitsubishielectric.se/blogg/hur-mycket-later-en-luftvarmepump-egentligen> den 21 Maj 2024
- Mogensen, P. (2013). Energibrunnen. i E. Björk, J. Acuña, E. Granryd, P. Mogensen, J.-E. Nowacki, B. Palm, & K. Weber, *Bergvärme på djupet; Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar* (ss. 71-83).
- Processor AB. (u.d.). *processor.se*. Hämtat från Luftkylda Kylmedelkylare: <https://processor.se/luftkylda-kylmediekylare/> den 17 Maj 2024
- Regeringskansliet. (den 11 Januari 2016). *Agenda 2030 för hållbar utveckling*. Hämtat från regeringen.se: <https://www.regeringen.se/regeringspolitik/globala-malen-och-agenda-2030/agenda-2030-for-hallbar-utveckling/>
- Rydegran, E. (den 11 Juli 2023). *Fjärrvärmeproduktion*. Hämtat från energiföretagen.se: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/> den 16 Februari 2024
- Samster AB. (den 15 12 2023). *Handbok Solhybridsystem*. Hämtat från Samster: <file:///C:/Users/Alma/Downloads/Handbok-Samsters-solhybridsystem-upplaga-2.2.pdf>
- SMHI. (den 12 April 2024). *SMHI Energi-Index och Graddagar – normalårskorrigerig värme*. Hämtat från smhi.se: <https://www.smhi.se/professionella-tjanster/hallbara-stader/smhi-energiindex-och-graddagar-normalkorrigering-varme-1.185236> den 8 Mars 2024
- SMHI. (2024). *smhi.se*. Hämtat från Års- och månadsstatistik: https://www.smhi.se/pd/klimat/pdf_stats/month/SMHI_vov_temperatu re_wind_jan24.pdf
- SMHI. (u.d.). *smhi.se*. Hämtat från Guide Normalårskorrigerig – Värme: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.171017!/Guide%20Normal%C3%A5rskorrigerig%20-%20Energi-Index.pdf den 5 Mars 2024

- Svenska FN-förbundet. (u.d.). *Agenda 2030 och de globala målen för hållbar utveckling*. Hämtat från fn.se: <https://fn.se/vi-gor/vi-utbildar-och-informerar/fn-info/vad-gor-fn/fns-arbete-for-utveckling-och-fattigdomsbekampning/agenda2030-och-de-globala-malen/> den 9 Maj 2024
- Sveriges geologiska undersökning. (den 15 Maj 2023). *sgu.se*. Hämtat från Bergvärme: <https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/Geoenergi-geotermi-och-energilagring/bergvarme/> den 7 Februari 2024
- Tiwari, A. K., Chatterjee, K., Agrawal, S., & Singh, G. K. (den 4 9 2023). A comprehensive review of photovoltaic-thermal (PVT) technology: Performance evaluation and contemporary development. *ScienceDirect*.
- Vattenfall. (den 25 Februari 2020). *Därför lånar allt fler fastighetsägare grönt*. Hämtat från energyplaza.vattenfall.se: <https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/d%C3%A4rf%C3%B6r-%C3%A5nar-allt-fler-fastighets%C3%A4gare-gr%C3%B6nt#download-page> den 16 Maj 2024
- Wallenstam. (den 22 12 2021). *wallenstam.se*. Hämtat från Solhybrider till Wallenstams projekt Skogsvaktaren: https://www.wallenstam.se/sv/om_oss/Press_och_media/pressmeddelanden_press/?pressItemId=1975534

10.1 Tabellförteckning

Tabell 1. Översiktlig information över studerat objekt.	13
Tabell 2. Skillnad mellan EED-beräkningar över projektering.	20
Tabell 3. Sammanställning över borrhålens parametrar vid Kv. skogsvaktaren.	21
Tabell 4. Redogörelse för poster i Mätplanen.	23
Tabell 5. Resultat av ekvation 3.2 från mätplan. Andel fjärrvärme till rumsuppvärmning.	24
Tabell 6. Resultat av ekvation 2.3 från mätplan. Andel fjärrvärme till tappvarmvatten.	24
Tabell 7. Total baslast för Hus A och B.	25
Tabell 8. Total energianvändning över Hus A och B ink. baslast, före och efter normalårskorrigerig.	26
Tabell 9. Ingående data för beräkning av SCOP till bergvärmepumpar.	27
Tabell 10. Skillnad i indata för projektering och utfall till EED-beräkning.	34
Tabell 11. Skillnad mellan resultat av nya EED-beräkningar.	35
Tabell 12. Procentuell skillnad av projektering jämfört med utfall för TVV.	39
Tabell 13. Procentuell skillnad av projektering jämfört med utfall för VVC.	40

10.2 Figurförteckning

Figur 1. Inkommande borrhål till undercentralen i Kv. Skogsvaktaren. Egen bild...	7
Figur 2. Ångkompressionscykeln i en värmepump. (Björk et. al., 2013). Återgiven med tillstånd.....	8
Figur 3. Principritning över solhybridens inkoppling till ett standardsystem med bergvärme. (Samster, 2023.). Återgiven med tillstånd.....	9
Figur 4. Ackumulatortank i Kv. Skogsvaktarens undercentral. Egen bild.....	10
Figur 5. Kv. Skogsvaktaren, bild från studiebesök i mars. Egen bild.....	13
Figur 6. Flödesschema över Kv. Skogsvaktarens vätskeburna värmesystem, kalla sidan.....	15
Figur 7. Flödesschema över luftbehandlingsaggregatet i Kv. Skogsvaktaren.....	16
Figur 8. Flödesschema över Kv. Skogsvaktarens vätskeburna värmesystem, varma sidan.....	17
Figur 9. Situationsplan över borrhålens placering vid Kv. Skogsvaktaren. (Wallenstam, 2023). Återgiven med tillstånd.....	20
Figur 10. Mätplan för Kv. Skogsvaktarens mätare i styrsystemet. (Wallenstam, 2023).....	22
Figur 11. Flödesschema över kalla sidan i Kv. Skogsvaktaren. Pumparna för styrning av solhybrider inringat.....	43

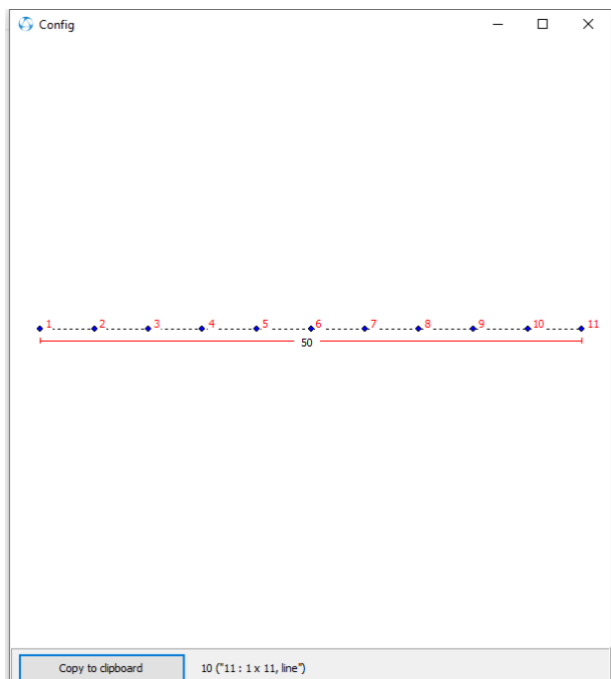
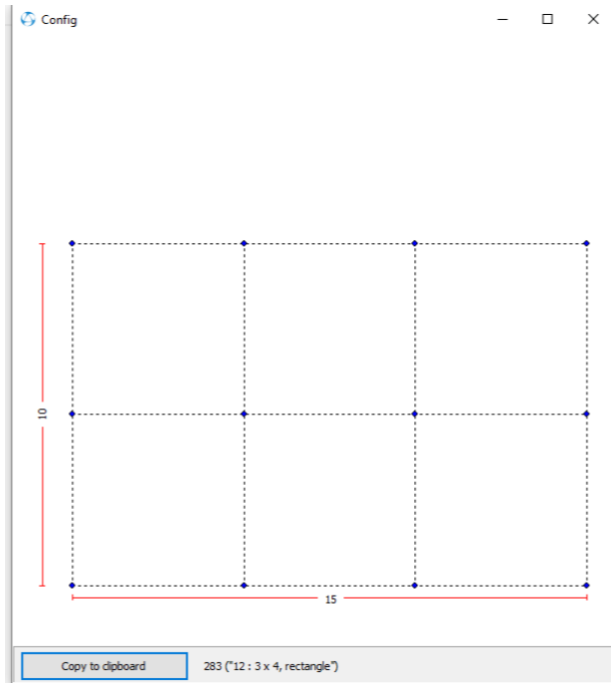
10.3 Diagramförteckningar

Diagram 1. Månadsvis uppställning över projekterad återladdning från solhybrider.....	19
Diagram 2. Total summering av uppmätt återladdning från solhybrider jämfört mot projektering.....	28
Diagram 3. Månadsvis jämförelse av solhybridens återladdning jämfört med projektering.....	28
Diagram 4. Total sammanställning av återladdning från kylbatteri jämfört mot solhybridens projekterade återladdning.....	29
Diagram 5. Månadsvis sammanställning av uppmätt återladdning från kylbatteri jämfört mot projektering för solhybrider.....	30
Diagram 6. Total sammanställning av uppmätt återladdning från solhybrider och kylbatteri jämfört mot projektering.....	30
Diagram 7. Månadsfördelning över uppmätt återladdning från solhybrider och kylbatteri.....	31
Diagram 8. Månadsvis summering av projektering och uppmätt återladdning i relation till borrhålens temperatur.....	31
Diagram 9. Uppmätt återladdning och uttagen energi från borrhålen under undersökt period.....	32
Diagram 10. Projektering över förväntad återladdning från 69st solhybrider och energiuttag från borrhålen under årets månader.....	32
Diagram 11. EED-simulering från projektering, visar temperaturvariationen under ett år det 25:e året.....	34
Diagram 12. EED-simulering baserad på indata från verkligt utfall, visar temperaturvariationen under ett år det 25:e året.....	34
Diagram 13. EED-simulering över projektering, visar temperaturvariation under 25 år.....	35

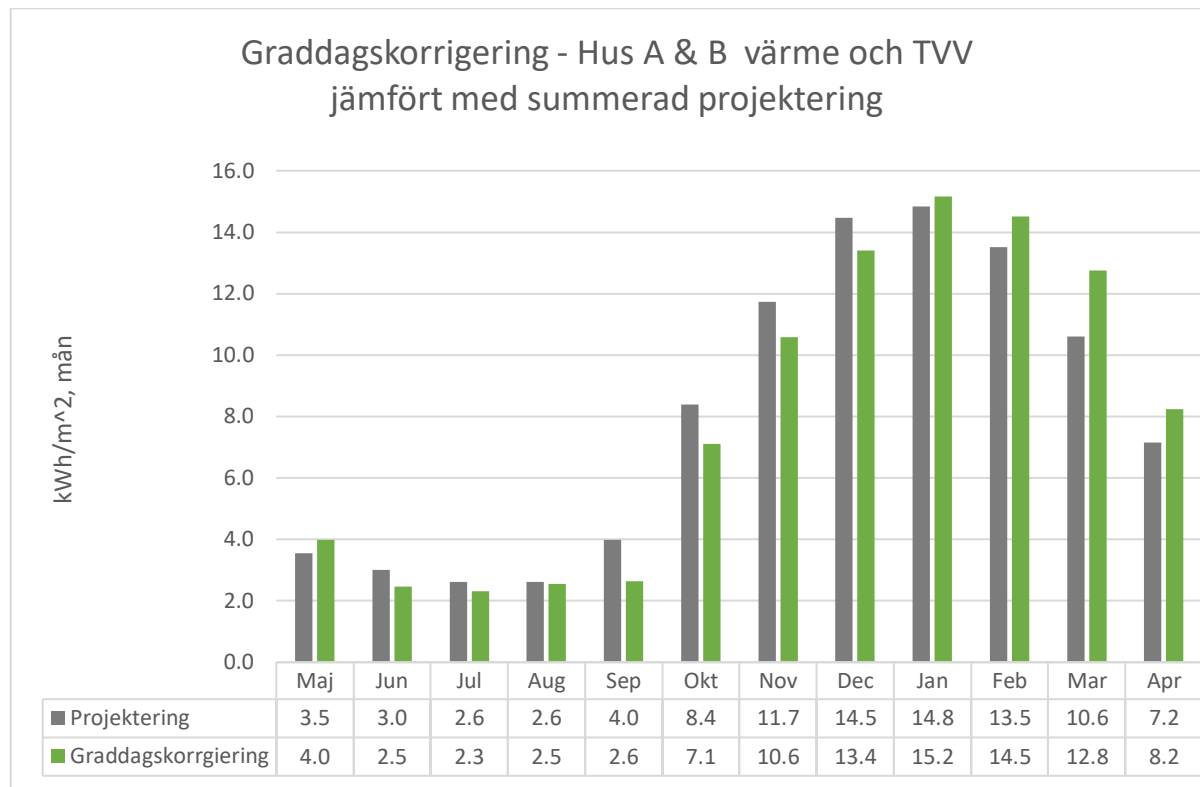
Diagram 14. EED-simulering baserad på indata från verkligt utfall, visar temperaturvariation under 25 år.	35
Diagram 15. Månadsvis summering av normalårskorrigerad värme jämfört mot projektering för Hus A.	36
Diagram 16. Månadsvis summering av normalårskorrigerad värme jämfört mot projektering, Hus B.	36
Diagram 17. Månadsvis summering av TVV jämfört med projektering.	37
Diagram 18. Månadsvis summering av husens totala energianvändning jämfört mot projektering.	37
Diagram 19. Procentuell fördelning av värmekälla för total värme i husen.	38
Diagram 20. Procentuell fördelning över uppvärmning till TVV.	39
Diagram 21. Procentuell fördelning av total rumsuppvärmning till Kv. Skogsvaktaren.	40
Diagram 22. Procentuell fördelning av fjärrvärme till Kv. Skogsvaktaren.	41
Diagram 23. Procentuell fördelning av bergvärme till Kv. Skogsvaktaren.	41

11 Appendix

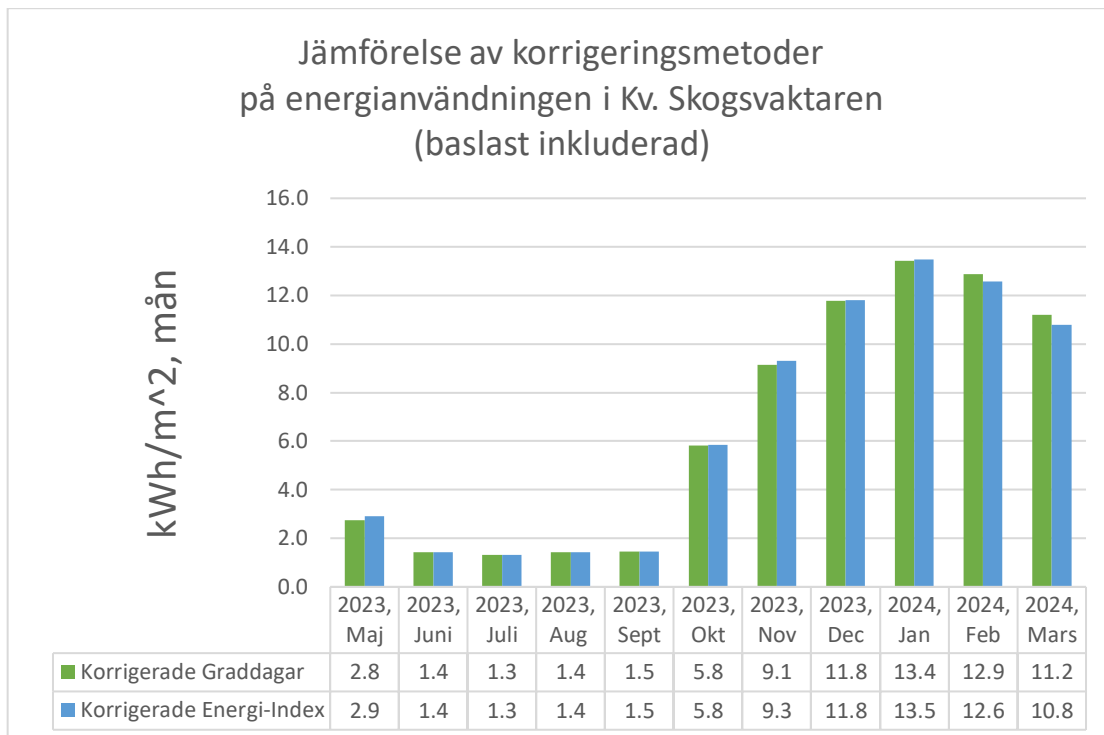
11.1 EED konfiguration av borrhålens placering



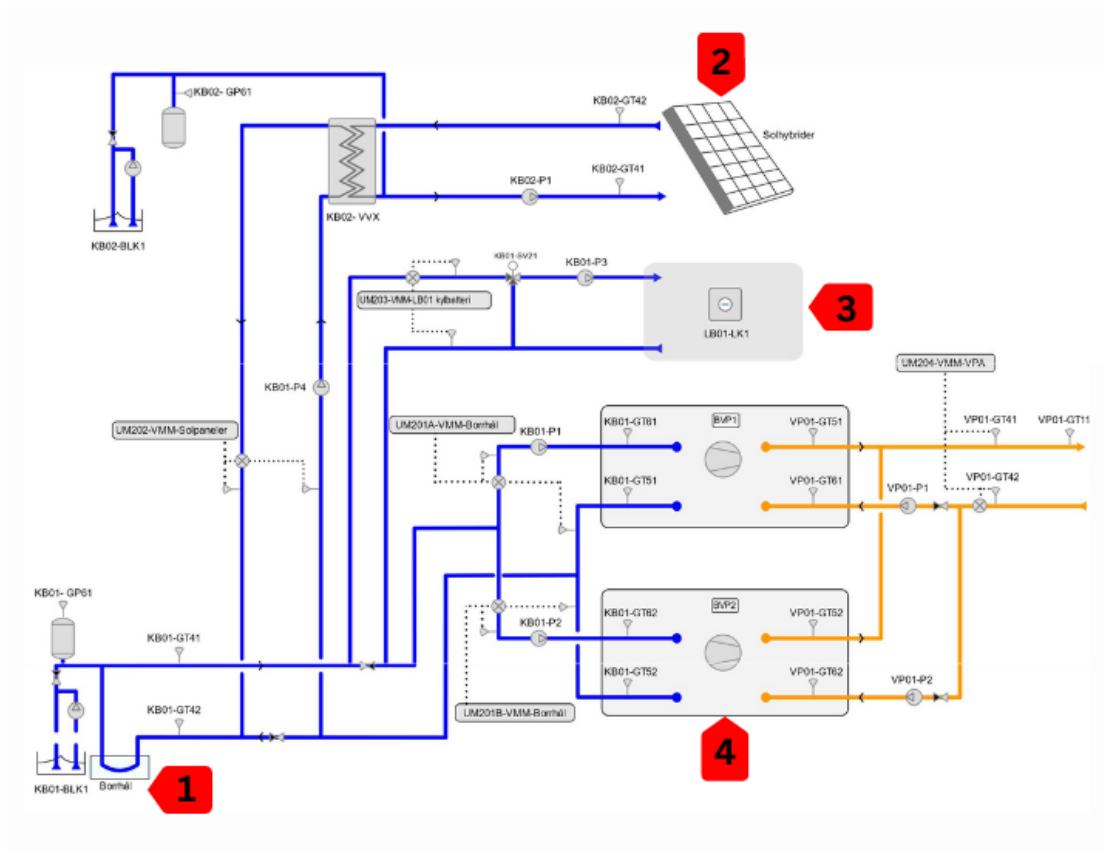
11.2 Graddagskorrigering av uppmätt period jämfört med projektering.



11.3 Jämförelse av normalårskorrigeringsmetoder.



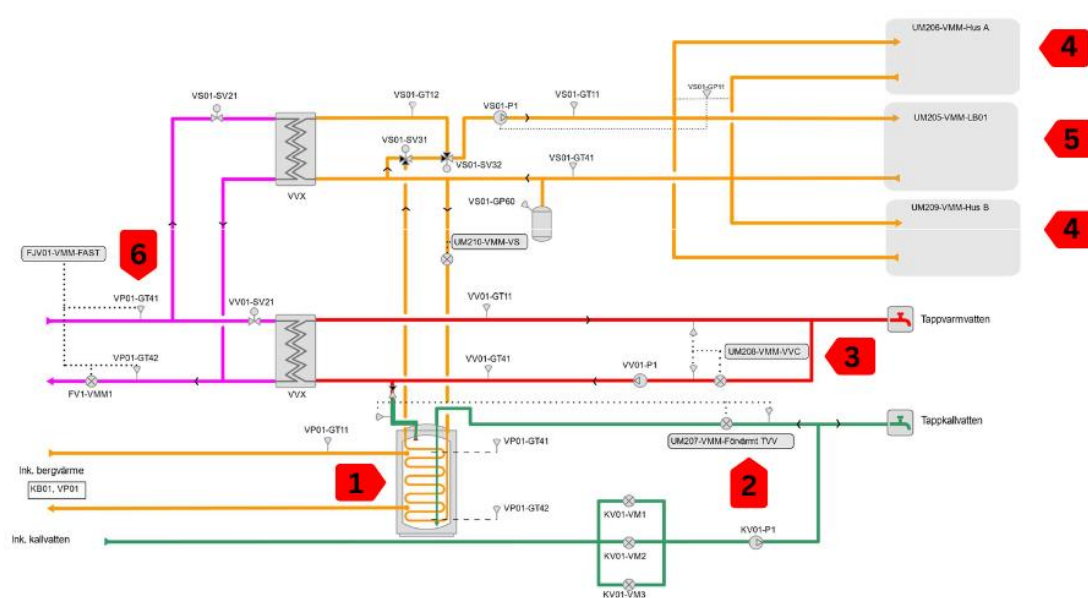
11.4 Flödesschema, kalla sidan



Värmesystemets kalla sida består av;

1. Borrhålslager
2. Solhybrider
3. Kylbatteri i luftbehandlingsaggregatet
4. Bergvärmepumpar

11.5 Flödesschema, varma sidan



1. Ackumulatortank.
2. Inkommande kallvatten (KV) / Förvämt tappvarmvatten (TVV).
3. Varmvattencirkulation (VVC) / Tappvarmvatten (TVV).
4. Radiatorsystem, Hus A och Hus B.
5. Värmebatteri i luftbehandlingsaggregat.
6. Inkommande fjärrvärme.



CHALMERS