



Uppvärmningssynergier mellan spårvagnsdepå, ishall och multifunktionell byggnad i sydöstra stadsdelarna i Uppsala

Maja Aleberg, Linda Brante, Eric Hjerm, Elise Lamenoise, Eric Rosén, Emil Sandros, Tilde Örn

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för energi och teknik
Civilingenjörsprogrammet i energisystem
Examensarbete 2024:17 • ISSN 1654-9392
Uppsala 2024



Uppvärmningssynergier mellan spårvagnsdepå, ishall och multifunktionell byggnad i sydöstra stadsdelarna i Uppsala

Heat energy synergies between tram depot, ice hockey arena and multifunctional building in the southeastern district of Uppsala

Maja Aleberg, Linda Brante, Eric Hjerm, Elise Lamenoise, Eric Rosén, Emil Sandros, Tilde Örn

Handledare: Ingrid Strid, institutionen för energi och teknik
Examinator: David Ljungberg, SLU, institutionen för energi och teknik

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem
Kurskod: EX0946
Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem
Kursansvarig inst.: Institutionen för energi och teknik
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2024
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2024:17
ISSN: 1654-9392

Nyckelord: uppvärmning, värmesynergier, bergvärme, värmepump

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för energi och teknik

Abstract

In the near future a tram depot, ice hockey arena and a multifunctional building will be built in the southern east part of Uppsala. The goal of this project is to analyze the potential for future heat energy synergies between the three buildings. Energy synergies involve ways of sharing energy between establishments in an effective way that is optimal for everyone involved. Since the tram depot will be built first there need to be preparations in place in order to obtain energy synergies.

To reach this goal the individual energy needs and consumptions for each building were calculated using the UUBEM code. This gave an overview of the system as a whole and areas where improvements could be made. To solve the future heat energy demands for all buildings different methods and techniques were applied. This was done to reduce the need for district heating. The majority of the heating is expected to come from geothermal energy. Solar collectors are installed with the purpose of raising the temperature of the water entering the geothermal heat pump, thereby increasing the SCOP factor. Short term storage of excess heat from the solar collectors is stored daily in accumulator tanks is used to improve the efficiency of the geothermal system during the night. Low temperature water from the solar collectors is used to reheat the boreholes. Waste heat from the ice hockey arena is also utilized. Air curtains are used to reduce energy losses from the opening and closing of doors at the tram depot.

The results show that a total of 59 boreholes, approximately 326 meters deep are required. 79 percent of the total power demand is covered by geothermal energy and waste heat from the ice hockey arena when the demand for power is at its peak. The remaining 21 percent of the power demand is met by district heating.

Sammanfattning

Inom nära framtid kommer det att byggas en spårvagnsdepå, multifunktionell byggnad och en ishall i de sydöstra stadsdelarna i Uppsala. Målet med det här projektet är att undersöka de potentiella värmeenergisynergier mellan de tre byggnaderna för att optimera värmeanvändningen. Eftersom spårvagnsdepån kommer att byggas först behövs det förberedelser för dessa energisynergier vara på plats innan ishallen och den multifunktionellabyggnaden byggs.

För att nå målet beräknades värmeenergibehoven och värmeenergianvändningen för alla tre byggnader med en UUBEM kod. I denna kod tar man hänsyn till inomhustemperaturer och rörelsemönster för att simulera hur energibehovet ser ut. Det här gav en bild över hela systemet och förbättringsområden när det gäller effektiv energianvändning. För att lösa de framtida värmeenergibehoven för alla byggnader implementerades olika metoder och tekniker. Detta gjordes också för att minska på fjärrvärmebehovet. Den största delen av uppvärmningen beräknas komma från bergvärme. Solfångare installeras i syftet att höja temperaturen på vatten in i bergvärmepumpen och därmed öka SCOP-faktorn. Korttidslagring av överflödsvärme från solfångarna dygnslagras i ackumulatortankar för att användas till att effektivisera bergvärmerna även nattetid. Lågtempererat vatten från solfångarna användes för att återvärma borrhålen. Även spillvärmen från ishallen nyttjas. Ridåvärmare användes för att minska energiförluster från öppning och stängning av dörrar på spårvagnsdepån.

Resultatet visar på att det totalt krävs 59 borrhål som är ca 326 meter djupa. Då effektbehovet är som störst täcks 79 procent av det totala behovet genom bergvärme och spillvärme från ishallen. Resterande 21 procent av effektbehovet täcks upp av fjärrvärme.

Innehåll

Innehåll	4
1 Inledning	5
2 Syfte och Frågeställningar	5
2.1 Syfte	5
2.2 Frågeställningar	5
3 Material och metoder	5
3.1 Byggnader	5
3.1.1 Spårvagnsdepå	6
3.1.2 Ishall	6
3.1.3 Multifunktionell byggnad	6
3.2 Tekniker	6
3.2.1 Fjärrvärme	6
3.2.2 Spillvärme från ishall	7
3.2.3 Luftridåer i spårvagnsdepån	7
3.2.4 Solfångare	7
3.2.5 Bergvärme	7
3.2.6 Dagslagring i ackumulatortank	8
3.2.7 Norra Vitsippan projekt	8
4 Metod	10
4.1 Flödesschema	10
4.2 Beräkning av solvärmeproduktion av vakuumrörsolfångare och plana glasade solfångare	11
4.3 Värmebehov	11
5 Resultat	12
5.1 Producerad spillvärme från ishallen	14
5.2 Dimensionering av bergvärme	15
5.3 Värmeproduktionen från olika tekniker av solfångare	15
5.3.1 Vakuumrörsolfångare och plana glasade solfångare	15
5.3.2 PVT- och hybridsolfångare	16
5.4 Dimensionering av ackumulatortankar	17
6 Diskussion	17
6.1 Uppvärmningslösning	17
6.2 Energibehov och flödesschema	17
6.3 Rimlighetsanalys	18
6.3.1 Ishall	18
6.3.2 Depå	18
6.3.3 Multifunktionell byggnad	18
6.4 Under byggnadsfasen	18
6.5 Felkällor	18
7 Slutsats	19
Tack till medverkande	20
Referenser	21
Delrapporter	22

1 Inledning

I Uppsalas sydöstra delar ska Uppsala Kommun bygga upp en helt ny stadsdel som ska vara färdig år 2050 enligt Uppsala Kommun (2021). Tillkommande den sydöstra stadsdelen skall även ett spårvagnssystem byggas ut i Uppsala vilket medför att en spårvagnsdepå kommer att behöva byggas, denna är med i projektplanen för det sydöstra området och förväntas vara klar år 2028 enligt Region Uppsala (2024). Två ytterligare byggnader som ska tillkomma några år senare i stadsdelen är en ishall och en multifunktionell byggnad. Kraven på de nya byggnader kopplade till dessa projekt innefattar en stabil och långsiktigt hållbar energiförsörjning. För att uppnå dessa krav behövs energieffektiva och cirkulära lösningar.

Fjärrvärmenätet är idag väl utbyggt i Uppsala och kommer att finnas på plats där dessa byggnader ska byggas. Ett problem är dock att priserna är oförutsägbara vilket har varit tydligt de senaste åren då bränslepriser har ökat markant, se Delrapport - Fjärrvärme. Denna studie försöker även därmed att minska beroendet av fjärrvärmen och undersöka på alternativa lösningar såsom bergvärme, solfångare, ridåvärmare och spillvärme som skulle kunna vara möjliga att etablera.

2 Syfte och Frågeställningar

2.1 Syfte

Syftet är att undersöka alternativ för ett lokalt energisystem som effektivt utnyttjar energisynergier mellan värmeproduktion och lagring av värme för ett system. Systemet i projektet består av en spårvagnsdepå, ishall och multifunktionell byggnad.

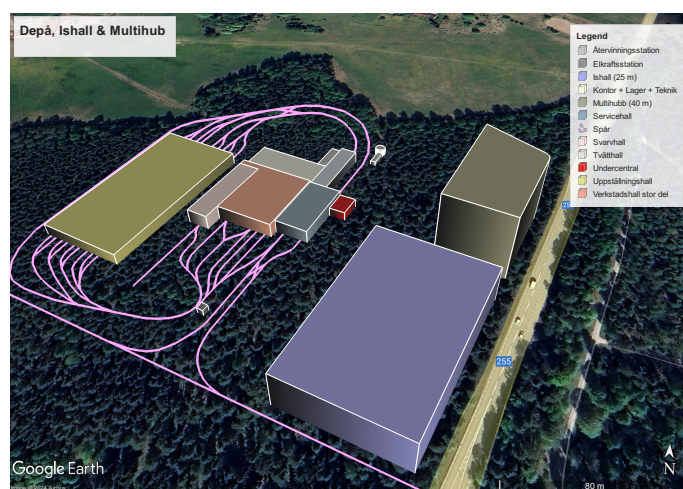
2.2 Frågeställningar

- Hur kan fjärrvärme, solfångare, bergvärme, spillvärme och ridåvärmare integreras för att skapa energisynergier mellan en ishall, en spårvagnsdepå och en multifunktionell byggnad?
- Hur ska spårvagnsdepån byggas idag för att stödja framtida energisynergier mellan byggnaderna?

3 Material och metoder

3.1 Byggnader

I detta projekt undersöks tre byggnader som ska samverka med uppvärmningssynergier som tidigare nämnts. Dessa tre byggnader beskrivs nedan med allmän fakta och data som behövs till simuleringen. I figur 1 nedan så kan man se en eventuell skiss på hur det skulle kunna tänkas se ut för det utvalda området.



Figur 1: Bildtolkning av hela området som inkluderar spårvagnsdepå, ishall, ishall samt undercentral.

3.1.1 Spårvagnsdepå

I samband med att sydöstra stadsdelen i Uppsala byggs ut ska även ett spårvagnssystem byggas ut där spårvagnsdepån ska befinna sig i detta område. Spårvagnsdepåns preliminära storlek är en total area på 13900 m², detta inkluderar även yta som befinner sig ovanför markplan, se Delrapport - Spårvagnsdepå. Inom denna area finns totalt tio arbetsområden med olika temperaturzoner samt areor, flera av arbetsområdena har samma temperaturzon och har därmed slagits ihop till en gemensam area. Vid modellering är det de sammanslagna värdena för ytor samt temperaturzoner som använts. För mer detaljerad information kring exakta areor och temperaturer, se Delrapport - Spårvagnsdepå. För att ha realistisk data att jämföra med har data från spårvagnsdepån på Ringön i Göteborg använts (Skanska 2021).

3.1.2 Ishall

I detta arbete kommer Recoverhallen i Gränby, Uppsala, som är av typen Spectator arena C att undersökas. Den här kategorin av ishallar är vanligast i Sverige och kännetecknas av att de har mellan 500 till 1000 åskådareplatser. Recoverhallen används för hockey-och bandymatcher och även mindre evenemang. Säsongen för isbanan är från september till mars, alltså är den stängd under sommarmånaderna. Arean på ishallen i projektet uppskattades till 8600 m² med hjälp av Google Earth. Den årliga energianvändningen av en ishall i Sverige ligger på ungefär 1 GWh. I en ishall går det åt energi för kylsystem, reglering av inomhusklimat, avfuktning, ventilation och belysning. Dessa områden kallas för The Big Five då de tillsammans står för ca 90 procent av ishallens totala energianvändning, se Delrapport - Spillvärme.

3.1.3 Multifunktionell byggnad

Multifunktionella byggnader är byggnader som har flera olika funktioner som till exempel bostäder, livsmedelsbutiker, parkeringshus med mera. I Rosendals norra ände i Uppsala finns det en byggnad som heter Dansmästaren som kan ses som en multifunktionell byggnad då den till exempel har en kombination av parkeringshus, bostäder och en livsmedelsbutik. Dansmästaren kan ses som den multifunktionella byggnaden som detta arbete studerar och därmed kommer data från Dansmästaren vara med i simuleringen enligt delrapporten om multifunktionella byggnaden. Den multifunktionella byggnaden förväntas stå färdigbyggd drygt 3 år efter att spårvagnsdepån står färdig.

På bottenplanen av den multifunktionella byggnaden finns en livsmedelsbutik på 2200 m². I Dansmästaren finns bostäder som totalt är 133 lägenheter på över sju våningsplan. 126 stycken av dessa är enrumslägenheter mellan 26,7-33,5 m² och sju stycken av dessa 133 lägenheterna är 42,4 m² enligt delrapporten om multifunktionella byggnaden. Dansmästaren är även totalt 40 meter hög. Genom all denna data som nämnts ovan kan en simulering göras på hur stort uppvärmningsbehovet är ifall man värmer upp allt med fjärrvärmenätet.

3.2 Tekniker

3.2.1 Fjärrvärme

Uppsala har ett väletablerat fjärrvärmenät som sträcker sig till området i Nantuna där de tre byggnaderna ska anläggas. Trycket i nätet varierar mellan 8 och 10 bar samt har en utgående temperatur mellan 70°C till 120°C. För konsumenten tillkommer en straffavgift vid för höga temperaturer på returvatten, se Delrapport - Fjärrvärme. Detta tas hänsyn till då fjärrvärmen i systemet förs ut i markslingor på spårområdet innan det returneras till värmeverket i Boländerna. Uppvärmning av spårområdet minskar behovet av snöröjning samtidigt som det minimerar riskerna för straffavgifter, se Delrapport - Spårvagnsdepå.

Fördelar med att använda sig av fjärrvärme är dess driftsäkerhet samt låga behov av underhåll. Uppvärmningen av vattnet sker genom förbränning av restprodukter från skogsindustrin och byg-gavfall, även spillvärme från industrier nyttjas för uppvärmning. Nackdelar med fjärrvärme utgörs främst av det naturliga monopol som förekommer och det problem med prisförhandling för konsumenten som uppstår, se Delrapport - Fjärrvärme.

3.2.2 Spillvärme från ishall

Värmebehovet för medelishallen i Sverige står för 26 procent av energianvändningen, motsvarande 277 MWh per år. Majoriteten av ishallarna använder FTX-ventilation, en teknik som integrerar ventilation med värmeåtervinning. Dagligen producerar en ishall mer värmeenergi än vad dess drift kräver. Denna spillvärme produceras främst från ishallarnas kylmaskiner, som ingår i kylsystemet. Kylmaskinerna kyler isen i anläggningen genom att avlägsna värme. I kylsystemet ingår även en kondensator eller kylmedelkylare, en ispist samt, i de flesta fallen, en värmeåtervinningskrets. Värmeåtervinnningssystemet möjliggör nyttjandet av spillvärmen som kan användas för att producera varmvatten, återladda borrhål, ventilation samt för att värma lokaler, se Delrapport - Spillvärme.

Ett typiskt kylsystem i en ishall producerar mellan 700 till 1500 MWh värme varje år som kan nyttjas internt. Genom implementering av en värmepump kan man höja temperaturen på den lågtempererade spillvärmen. Detta gör då spillvärmen mer användbar samt styrbar.

Överskottsvärmen kan lagras och i vissa fall exporteras till byggnader i närområdet. Genom integration av värmeåtervinningsystem kan värmebehovet minskas upp till 75 procent. Därmed kan fjärrvärmebehovet även minskas, se Delrapport - Spillvärme.

3.2.3 Luftridåer i spårvagnsdepån

Vid portar och dörrar installeras luftridåer i spårvagnsdepån för att minska värme- och kylförluster vid stunder då portarna och dörrarna är öppna. Luftridåerna minskar förlusterna genom att rikta ner ett starkt uppvärmt luftflöde över öppningen som uppstår. Uppvärmningen av luften sker genom att växla av varmvattnet från fjärrvärmenätet genom värmeväxlare. Genom ventiler sänks temperaturen hos fjärrvärmevattnet till 40°C-60°C innan de går in i luftridåerna (Frico 2024).

Med luftridåer installerade kan energibesparingar på mellan 70-80 procent uppnås beroende på utomhustemperatur. Det ska tas hänsyn till störande faktorer som passage av spårvagnar vilket påverkar energibesparingarna negativt (Costa, Oliveira och Silva 2006).

3.2.4 Solfångare

Det finns olika tekniker för solfångare på marknaden idag och de tre som analyseras är plana glasade solfångare FPC (flat plate collectors), vakuumrörsolfångare ETC (evacuated tube collectors) samt PVT-solfångare. FPC är de vanligaste solfångarna som köps och används idag, de består av en isolerad låda med en mörk absorberplatta där baksidan är klädd med rörslingor med en glasskiva som ett skyddande lager. Den andra som analyserades var ETC som består av dubbelmantlade glaströr med vakuum mellan som funkar som isolering, se Delrapport - Solfångare.

Vid jämförelse mellan de två olika har ETC en sämre verkningsgrad när temperaturskillnaden mot omgivande luft är liten. När skillnaden ökar så faller inte ETC:s verkningsgrad lika snabbt, det innebär att vid stor temperaturskillnad på arbetstemperaturen och omgivande luft och/eller låg solinstrålning blir verkningsgraden för ETC bättre. Monteringstiden för de två olika tekniker varierar också, eftersom FPC är en mer etablerad teknik så kan dessa monteras snabbare än för ETC. Även om monteringsstiden är längre för ETC så har de en längre livstid på grund av att känsliga soloptiska material som befinner sig i vakuumet inte utsätts lika enkelt för fukt, smuts eller för korrosion, se Delrapport - Solfångare.

I delrapporten Solfångare introduceras även en tredje teknik där man har integrerat solfångare och solceller i en modul, kallat PVT och solfångarhybrider. Framsidan på modulen är en monokristallin solcell och baksidan är solfångaren. Denna teknik gör att solcellens elproduktion förbättras med 5-15 procent och solfångaren har en arbetstemperatur på 20-25°C vilket gör att den kan användas för uppvärmning av borrhålslager i samverkan med värmepumpar. Om solfångaren kommer upp i för höga temperaturen blir den procentuella förbättring mindre och solcellen får sämre verkningsgrad, se Delrapport - Solfångare.

3.2.5 Bergvärme

Bergvärme är en teknik där den lagrade solenergin i mark och grundvatten nyttjas i en ångkompressionscykel. Den här cykeln består av en förångare, kompressor, kondensator och en expansionsventil. I det här systemet kretsar ett köldmedium som tar upp och avger termisk energi vilket dri-

ver bergvärmepumpen. Förångaren och kondensorn som är värmeväxlare är också de viktigaste komponenterna när det gäller värmepumpens effekt och dess COP-faktor. För att erhålla en bra COP-faktor ska det vara hög temperatur vid kondensorn och låg temperatur vid förångaren, se Delrapport - Bergvärme.

I ett bergvärme system har man ett flertal borrhål på ett djup mellan 100 och 300 m och en diameter på mellan 115 till 140 mm. Placering, antal borrhål samt deras djup och diameter styrs av faktorer som miljön och värmeenergibehov. Genom att kombinera bergvärme från borrhål med solfångare kan man öka effektiviteten hos en bergvärmepump, se Delrapport - Bergvärme.

Införandet av solfångare medför att värmepumpens kapacitet ökar så att den kan tillföra mer värmeenergi. Effektiviteten hos en bergvärmepump uppskattas med Seasonal Coefficient of Performance eller SCOP-faktor. Denna faktor kallas också för årsvärmefaktor och visar alltså effektiviteten hos en bergvärmepump under ett år. Normalt ligger SCOP-faktorn mellan 2,8 och 5,0. För att öka SCOP-faktorn kan solfångare nyttjas för att förvärma vattnet in i värmepumpen, se Delrapport- Bergvärme. Dygnslagring av överskottsvärme i mindre skala är möjligt för att öka temperaturen in i värmepumpen även nattetid, se Delrapport - Ackumulatortank.

Vid användning av bergvärme kan berget utarmas på värme och få sämre lagringsförmåga över tid. Både förvärmning av vattnet innan bergvärmepumpen och värmning direkt av vattnet som skickas ned kommer att öka temperaturen i berget och minska risken för utarmning av värme, se Delrapport - Bergvärme.

3.2.6 Dagslagring i ackumulatortank

En ackumulatortanks uppgift är att lagra värme i en isolerad vattenbehållaren och fungerar som en stor termos. En ackumulatortank kan användas när man har en fluktuerande värmeproduktion från en värmekälla som till exempel för solfångare men kan i princip användas till alla värmeproducerande källor. Förlusterna är små i ackumulatortankar vilket det görs beräkningar på i delrapporten om ackumulatortanken. I systemet kommer en ackumulatortank användas för dygnslagring av överskottsvärme från solfångarna som kan användas till att effektivisera bergvärmepumpen nattetid enligt delrapporten om ackumulatortankar.

Enligt Mikael Carlborg som är tekniker på teknikföretaget inom vattenförsörjning Debe, så brukar man vilja ha 60-70 liter vatten per m² solfångaryta i en ackumulatortank. Detta används för att göra beräkningar för hur stor yta som ackumulatortankarna kommer att tas upp i undercentralen. Enligt Mikael så är Debe:s ackumulatorstorlekar dimensionerade enligt under, se Delrapport - Ackumulatortank.

5000 L : 2x2,48 m

10000 L : 2,2x4,46m

20000 L : 2,6x5,06m

Dessa dimensioner används i modellen. Fler antaganden som gjorts är att det går att lagra 30 kWh per 5000 liter för att kunna räkna ut lagringskapaciteten för ackumulatortankarna enligt delrapporten om ackumulatortankar.

3.2.7 Norra Vitsippan projekt

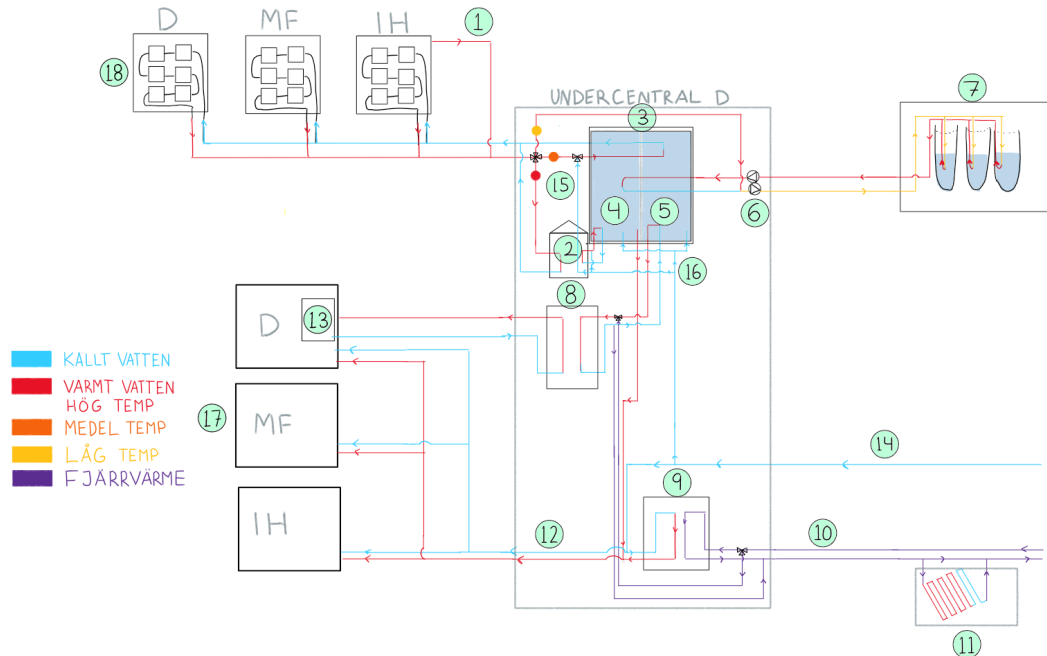
Systemet i detta arbete är starkt inspirerat av Norra Vitsippan och fungerar på liknande sätt. En mer detaljerad beskrivning av systemets funktionalitet återfinns i avsnittet Metod. Norra Vitsippan är ett bostadsområde som genom att kombinera solenergi och bergvärme uppnått netto-noll i energi. Bostadsområdet är utvecklat av Skanska Hyresbostäder och är placerat i Salem, söder om Stockholm. Att kombinera solfångare med en bergvärmepump har positiva effekter på systemets effektivitet då det kan öka värmepumpens COP-faktor, återladda borrhålen samt delvis tillgodose byggnadens behov av varmvatten. Projektet Norra Vitsippan har implementerat ett system kallat "Hybrid Solar System", vilket integrerar hybrid-solpaneler och bergvärme med ett styrsystem. Genom detta får systemet en årlig verkningsgrad eller SCOP-värde på 5 och behovet av inköpt värmeenergi kan minskas med 80 procent, se Delrapport - Kombisystem.

I Norra Vitsippan används solvärmen på olika sätt beroende på temperaturen på solvärmen samt om värmepumpen är i drift. Den högtempererade solvärmen dygnslagras i en ackumulatortank, den lägre tempererade solvärmen skickas till varmvattenberedare och överskottsvärmen används för att återladda borrhål. Enligt Anders Degerstedt, affärsutvecklare på Skanska Hyresbostäder Sverige, används även en del av solvärmen för att förvärma värmepumpens ingående vatten och på så sätt öka bergvärmepumpens COP-faktor. Under sommarhalvåret räcker solvärmen till för uppvärmning av varmvattnet men vintertid behövs stöttning från värmepumpen. Systemet är utrustat med två värmeväxlare som överför solvärmen till de olika funktionerna i systemet samt cirkulationspumpar som säkerställer transporten av varmt vatten till önskad del av systemet, se Delrapport - Kombisystem.

4 Metod

4.1 Flödesschema

Figur 2 visar det teoretiska flödesschemat över det ihopkopplade systemet. Genom återkommande möten med Region Uppsala har flödesschemat arbetats fram, inspiration har även hämtats från Norra Vitsippans funktionsbeskrivning, se Delrapport - Kombisystem.



1. Spillvärme från ishall
2. Ackumulatortank
3. Bergvärmepump
4. Varmvattenberedare
5. Värme till luftridåer
6. Cirkulationspumpar
7. Borrhålslager
8. Värmeväxlare
9. Varmvattenväxlare
10. Ingående och utgående fjärrvärme
11. Markslingor utanför depån
12. Ingående varmt och kallt vatten till byggnaderna
13. Luftridåer i depån
14. Ingående kallt vatten
15. Kallt vatten för spädning innan inlopp till värmepump
16. Kallt vatten för spädning innan inlopp till värmepump
17. De tre byggnaderna med de utgående flödena
18. De tre byggnaderna med de ingående flödena

Figur 2: Flödesschema över det ihopkopplade systemet

I figur 2 är utgångspunkten de tre byggnaderna uppe till vänster (18) vilket visar de utgående flödena och de tre byggnaderna nere till vänster (17) visar ingående flöden in i byggnaderna. MF står för multifunktionell byggnad, D för depå och IH för ishall. Uppe till vänster visas de tre byggnaderna med solfångare monterade på taken. Efter att kylmediet passerat solfångarna är kylmediet uppvärmt, det markeras med röda slingor. Från solfångarna tar sig det varma mediet till en fyrvägsventil där, beroende på temperatur, solvärmen flödar vidare till antingen ackumulatortanken (2), vid hög temperatur, eller bergvärmepumpen (3), vid medel temperatur. Genom att förvärma temperaturen på mediet vid inloppet till värmepumpen ökar värmepumpens COP-faktor.

Därefter värms mediet ytterligare med stöttning från värmepumpen som går vidare till varmvattenberedaren (4), en värmeväxlare (8) kopplad till lufridåerna (13) samt återladdar borrhålen (7), med syftet att motverka utarmning i berget. Ifall solvärmen är lågtempererad flödar mediet direkt till borrhålen. Med hjälp av cirkulationspumpar (6) kan det varma mediet flöda ned i borrhålen och värma upp grundvattnet. Vid temperaturer något högre än medel, späds mediet för att kunna skickas in i värmepumpen (15). Likaså har ackumulatortanken en spädventil som reglerar temperaturen som skickas in i värmepumpen nattetid då stöttning behövs (16).

Nere i högra hörnet syns inkommande samt utgående fjärrvärme (10), markerat med lila slingor, som hjälper till att stötta upp systemet vid behov. Ingående fjärrvärmen överför värmen med hjälp av en varmvattenväxlare (9), där det uppvärmda vattnet sedan flödar in till byggnaderna (12). Den utgående fjärrvärmen går till markslingor placerade i marken utanför depån (11). Undercentralen, som omfattar bergvärmepumpen (3), varmvattenberedarna (4), värmeväxlare (8), varmvattenväxlare (9) samt ackumulatortanken (8), är strategiskt placerad i anslutning till den akademiska delen av depån. Denna placering är vald eftersom den multifunktionella byggnaden och ishallen kommer att byggas efter depån. Genom att positionera systemet på detta sätt, möjliggör framtida synergier mellan byggnaderna när hela anläggningen är färdigställd, se Delrapport - Kom-bisystem.

4.2 Beräkning av solvärmeproduktion av vakuumsolfångare och plana glasade solfångare

Nyckeltal har använts för att ta fram ett resultat. Det har antagits att arbetstemperaturen på både vakuumsolfångare (ETC) och plana glasade solfångare (FPC) är 60°C för att enklast kunna jämföra de två teknikerna. Den totala arean av solfångarna som analyseras är 460 m² för att jämföra mot antalet solfångare som används i simuleringen för PVT-solfångare. Andra nyckeltal som ingått i beräkningarna beskrivs i tabell 1.

Tabell 1: Teknisk data för de valda solfångarna (Viessmann u.å.)

	Plana glasade solfångare	Vakuumsolfångare	Enhet
Optisk verkningsgrad η_0	0,827	0,782	
Värmeförlustkoefficient k_1	3,998	1,761	$\frac{W}{m^2K}$
Värmeförlustkoefficient k_2	0,014	0,008	$\frac{W}{m^2K^2}$
Arean av en solfångare	2,51	3,03	m^2

I de bifogade koderna i delrapporten - Solfångare beräknas den totala producerade solvärmen över ett år med avseende på utetemperaturen, solinstrålningen och nyckeltalen.

4.3 Värmebehov

Uppsala Urban Building Energy Model eller UUBEM är ett modelleringsverktyg framtaget av Fatemeh Johari och Joakim Widén vid Uppsala Universitet. Modellen kommer att användas i planerandet av sydöstra stadsdelarna och kan räkna på både värmebehov och elanvändning. Det är denna modell som har använts i arbetet med att kartlägga uppvärmningsbehovet för de tre byggnaderna som undersöks i denna rapport. I modellen ingår en excelfil med information om olika byggnadstyper och bostadsområden som sedan anropas i en pythonkod i programmet Spyder. I projektet har vi enbart använt uppvärmningsdelen av programmet. Vi har matat in information om de olika byggnadstyperna och dess olika konstruktion. De U-värden som använts har i diskussion med Patric Johansson Optima Energi ansetts vara rimliga för nybyggnation (Johansson 2024).

I modellen tas även hänsyn till den värmeenergi som utstrålas från människorna som befinner sig i byggnaden. För den multifunktionella byggnaden har programmet använt sig av en transitionsmatris där de boende kan befinna sig i tre olika tillstånd:

- A) Hemma och vaken
- B) Hemma och sovandes

C) Borta från hemmet

Det är bara i tillstånden A och B som personernas kroppsvärme bidrar till uppvärmingen och bara A som spillvärme från hushållselektronik räknas med. För ishallen och spårvagnsdepån lades personernas rörelsemönster till manuellt. För ishallen antogs 25 personer befinna sig på platsen varje dag under året mellan kl.16-22. Alla dessa personer antas även duscha och använda varmvatten. För spårvagnsdepån antogs olika rörelsemönster för dess olika områden. För kontoret och verkstaden antogs 15 personer vara närvarande i respektive byggnad mellan kl.8-17 varje dag.

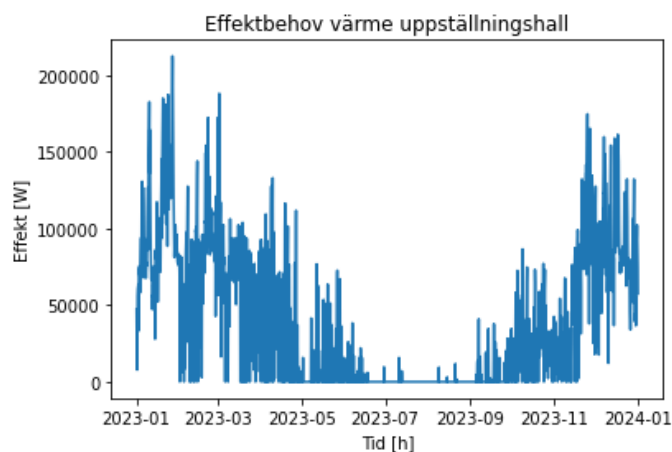
Den önskade temperaturen för varje byggnad samt byggnadernas höjd och koordinater lades in i programmet. De önskade temperaturerna jämfördes timme för timme med temperaturdata för året 2022 och utifrån det beräknades uppvärmningsbehovet.

I modellen har det inte tagits hänsyn till de stora öppningar som krävs för spårvagnarna och den värme som kommer att försvinna när dessa står öppna. U-värdet för byggnadens väggar kommer inte stämma för öppningens yta under den tid som portarna står öppna. Ridåvärmare kommer bidra till minskade energiförluster.

5 Resultat

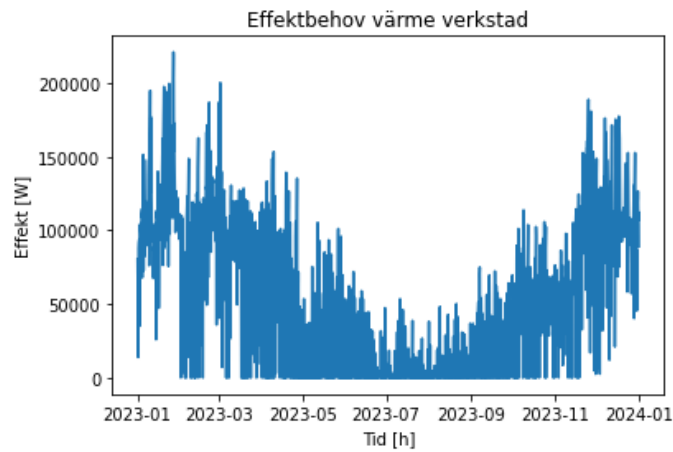
Från figur 1 till och med figur 6 presenteras värmebehovet för olika delar av studien som krävs för olika timmar över ett år ifall värmeproduktionen kommer ifrån fjärrvärme. De olika graferna visar värmebehovet för olika områden som är särskilt viktiga för studien. Spårvagnsdepån har delats upp i tre byggnader, dessa är depå, verkstad och kontor som tidigare nämnts i metoden då dessa kräver olika temperaturer.

Det totala uppvärmningsbehovet för spårvagnsdepåns uppställningshall uppgick till 350 MWh per år. Temperaturen i hallen ska minst vara 10°C och depåns area är 6400 m^2 och detta gör att värmebehovet på sommaren är försumbart. Totalt energibehov uppställningshall depå är 347 MWh.



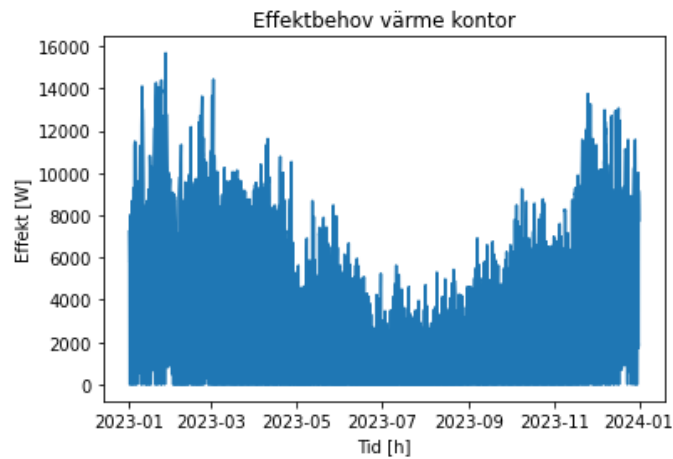
Figur 3: Effektbehov uppställningshall

Det totala uppvärmningsbehovet för spårvagnsdepåns verkstad uppgick till 497 MWh per år. Arealen är 5260 m^2 och temperaturen sattes till 16°C .



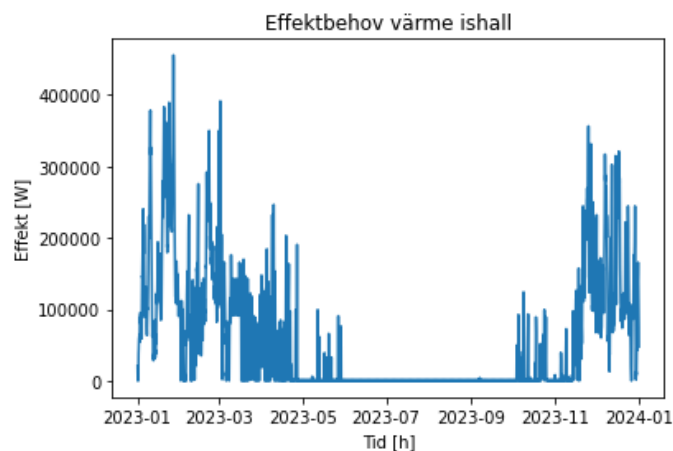
Figur 4: Effektbehov uppvärmning verkstad

Det totala uppvärmningsbehovet för spårvagnsdepåns kontor uppgick till 35 MWh per år. Arealen antogs vara 440 m² och temperaturen sattes till 22°C.



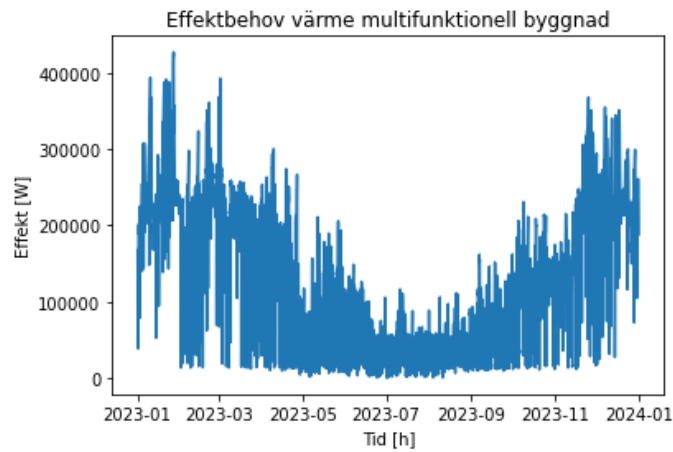
Figur 5: Effektbehov uppvärmning kontor

Det totala uppvärmningsbehovet för ishallen på ett år blev 486 MWh arean 8650 m². Som man kan se i grafen så antas ishallen inte vara igång under sommartid vilket speglar säsongsmönstret från grafen. Då ishallen planeras vara en träningshall sattes behovet av uppvärmning till 5°C.



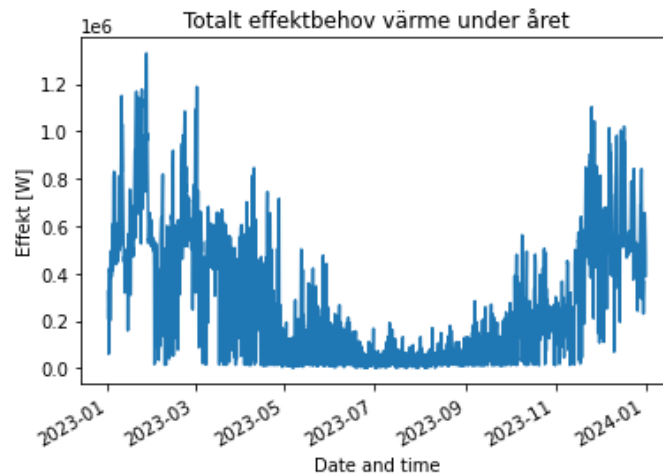
Figur 6: Effektbehov uppvärmning ishall

Det totala energibehovet för den multifunktionella byggnaden på ett år uppgick till 1149 MWh och arean var 3140 m². Innomhustemperaturen sattes till 21°C.



Figur 7: Effektbehov uppvärmning multifunktionell byggnad

I figur 6 syns att den högsta effekt som krävs för det hela systemet under ett år är 1,4 MW under den kallaste dagen på året. Totala energianvändningen på ett år är 2513 MWh (minus 1200 MWh när spillvärmens räknas med men den tas inte hänsyn till i programmet) vilket presenteras i tabell 2.



Figur 8: Totalt effektbehov för uppvärmning

Tabell 2: Energibehov för de olika byggnaderna.

Byggnader	Energibehov per år [MWh]
Uppställningshall	347
Verkstad	497
Kontor	35
Ishall	486
Multihub	1149
Totalt utan spillvärme	2513
Totalt med spillvärme	1313

5.1 Producerad spillvärme från ishallen

Standardstorleken för en ishall är 2 421 m². Genom att använda medelvärdet av den producerade värmen från kylmaskinen, nämnt från avsnitt 3.2.2 Spillvärme från ishall, kan en sådan ishall producera 1 100 MWh spillvärme årligen. I modelleringen utförd i UUBEM antas ishallen uppta

en yta på 8 649 m², vilket är betydligt större än standarden. Med antagandet att isbanans säsong sträcker sig över sju månader, likt Recoverhallen, beräknas ishallen producera 1 200 MWh årligen. Effekten beräknas då till cirka 0,24 MW, som avrundas till 0,2 MW i senare beräkningar, se Delrapport - Spillvärme.

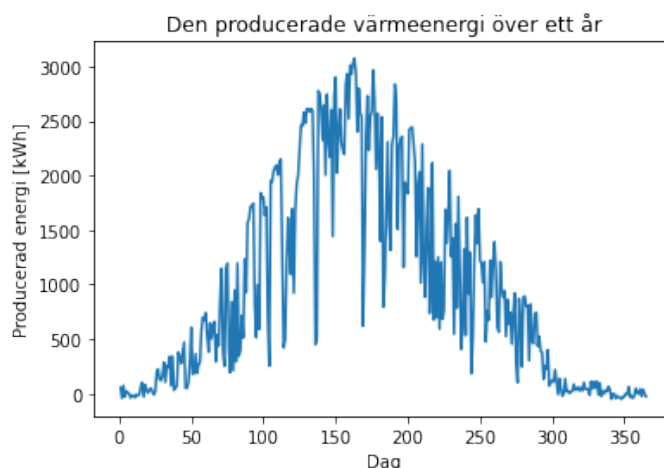
5.2 Dimensionering av bergvärme

En simulation har gjorts från företaget IVT värmepumpar som tar reda på en optimerad bild av hur många borrhål och storleksordning som krävs för att ersätta hela fjärrvärmens värmeproduktion. Den maximala effekten under den kallaste vinterdagen uppgick till 1,4 MW. Räknar man med spillvärmens så minskar effekttoppen till 1,2 MW enligt tidigare beräkning. Med detta scenario har spillvärmens minskat effekttoppen med 0,2 MW jämfört med tidigare scenario. Då kommer det att krävas 59 stycken borrhål som har ett djup på 326 meter. Bergvärmens kommer att täcka 100 procent av energibehovet och 79 procent av effektbehovet på den kallaste dagen, se Delrapport - Bergvärme.

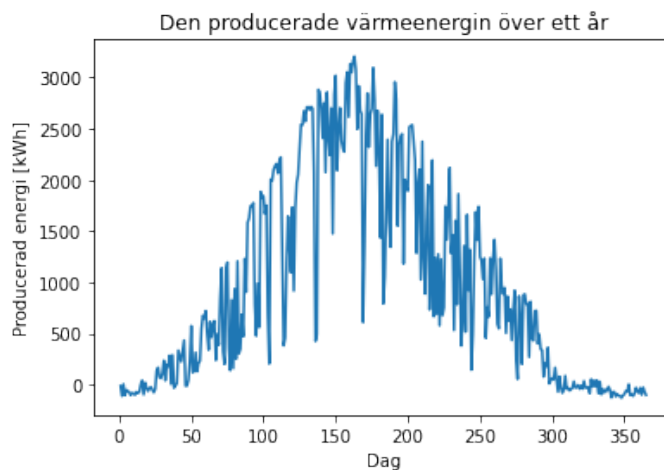
5.3 Värmeproduktionen från olika tekniker av solfångare

5.3.1 Vakuumsolfångare och plana glasade solfångare

I figurerna 9 och 10 visas hur produktionen för två av de tre solfångarna varierar över året 2023. Under vintermånaderna ser man en tydlig minskning och under sommarmånaderna ökar produktionen generellt.



Figur 9: Totalt producerade solvärmens för vakuumsolfångare med en area på 460 m².



Figur 10: Totalt producerade solvärmens för plana glasade solfångare med en area på 460 m².

Vakuümörörsolfångarna producerar som mest 3076 kWh och har totalt 37 dagar under året som de inte producerar några kWh alls. Plana glasade solfångare producerar som mest 3206 kWh och har totalt 78 dagar under året som de inte producerar några kWh alls.

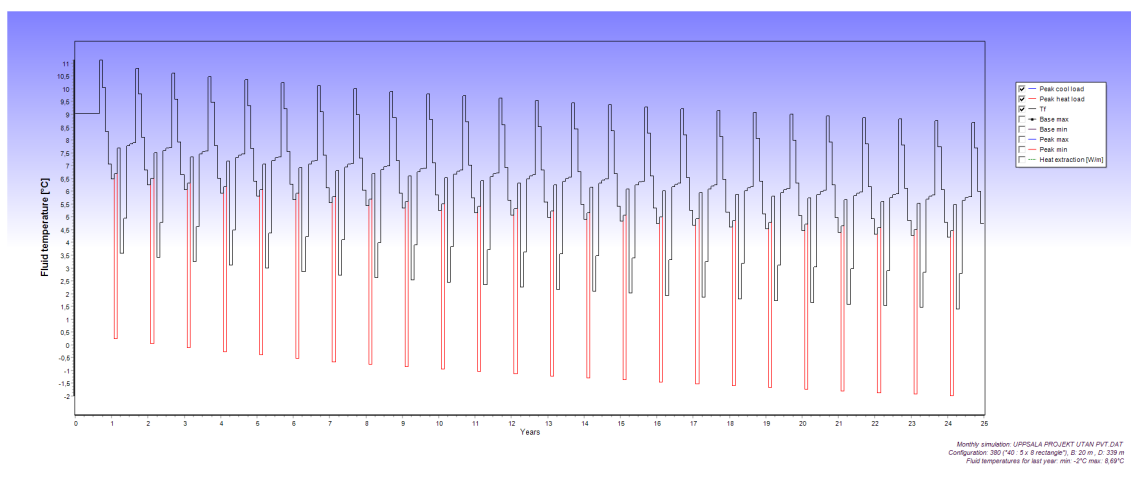
I tabell 3 redovisas den totala effekten som solfångarna producerat. De plana glasade solfångarna producerar 3 000 kWh mer än vad vakuümörörsolfångarna gör.

Tabell 3: Den totala effekten för som solfångarna producerat för alla fastigheter.

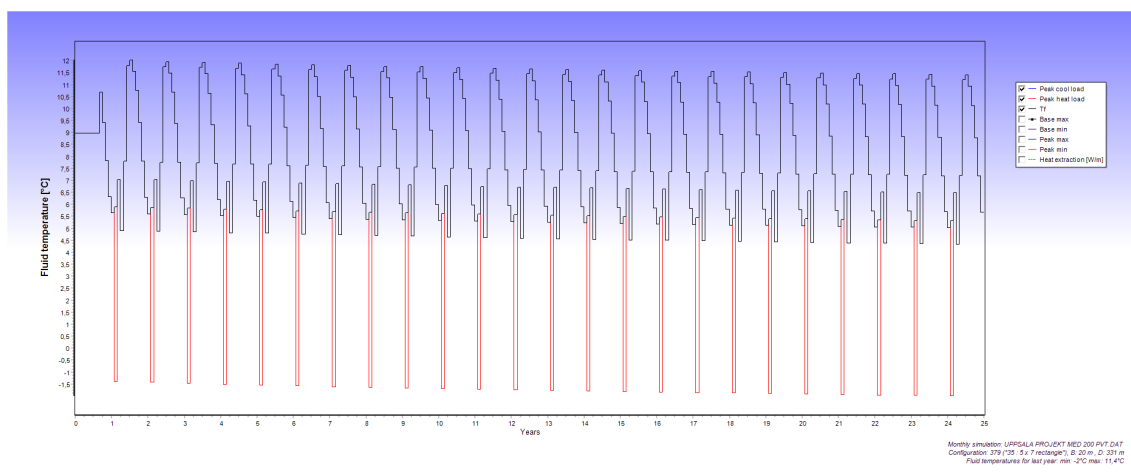
Typ av solfångare	P_{sol} [kWh]
Vakuümörörsolfångare	355735
Plan glasad solfångare	358509

5.3.2 PVT- och hybridsolfångare

Figurerna 11 och 12 redovisar temperaturen i borrhålen utan och med samverkan av PVT-solfångare. Från simuleringen framkom det även att bormetern på borrhålen kunde minskas med 15 procent om värmesystemet samarbetade med PVT-solfångare. De 200st PVT-solfångarna ger en bättre systemprestanda både direkt och över tid. Det inte relevant med fler PVT-solfångare eftersom systemet i princip är balanserat, se Delrapport - Solfångare.



Figur 11: Temperaturen på fluiden utan samverkan med PVT-solfångare.



Figur 12: Temperaturen på fluiden i samverkan med 200st PVT-solfångare.

5.4 Dimensionering av ackumulatortankar

Genom att göra beräkningar på antagandena som gjorts så kommer det behövas drygt 34 m³ vatten i ackumulatortankarna. Enligt Debes dimensionering på deras ackumulatortankar skulle det behövas 2 stycken ackumulatortankar som har dimensionen 2,6 m på bredd och 5,1 m på höjden. Detta skulle totalt ta upp en yta på 14 m². Totalt skulle detta ge en lagringskapacitet på 240 kWh i ackumulatortankarna, vilket kan jämföras med dag då solfångarna producerar som mest energi vilket var 3200 kWh, se Delrapport - Ackumulatortank.

6 Diskussion

6.1 Uppvärmningslösning

En bra uppvärmningslösning för de tre byggnaderna kommer att innehålla en mix av bergvärme, solfångare och fjärrvärme där bergvärmen är dimensionerad för att stå för det största och avgörande bidraget. Solfångarna kommer främst att användas för att öka SCOP-faktorn hos bergvärmepumpen vilket kommer att minska antalet borrhölar som behövs för att täcka det totala energibehovet. I samtal med DualSun kunde borrhölet på borrhålen minskas med 15 procent i en medelstor anläggning, se Delrapport - Bergvärme.

Då ett av målen med arbetet var att minska behovet av fjärrvärme så kan inte heller solfångarna skalas upp hur mycket som helst. Det beror på att solfångare främst producerar under sommarmånaderna. Om bergvärmen skalas ner till förmån för solfångare under sommaren innebär det att behovet av spetsvärme från fjärrvärmenätet under vinterhalvåret kommer att öka.

Fjärrvärmeanvändningen kommer att kunna hållas relativt låg och främst stötta upp under kalla vinterdagar. När man räknar med spillvärmen som minskar effekten kommer 79 procent av maximala effektbehovet täckas av bergvärmen den kallaste dagen. Resterande 21 procent täcks då av fjärrvärme vilket motsvarar 0,252 MW.

Vilken solfångarteknik, av de tre som analyserats, som används i den slutgiltiga lösningen spelar en viss roll. Både vakuumrörsolfångare och plana glasade solfångare kommer att kunna producera mer energi än vad som nödvändigtvis behövs för att endast värma upp borrhålen men vid jämförelse av de två så är det inte stor skillnad i deras produktion. När man däremot tittar på simuleringen av samverkan mellan PVT-solfångare och borrhål framkommer det att det är den mest gynnsamma lösningen för detta projekt eftersom Uppsala Region vill ha solceller på taken på spårvagnsdepån. Med denna teknik blir det möjligt att inte bara ha solfångare som ökar SCOP-faktorn på borrhålen utan även gör att de integrerade solcellerna i PVT-modulerna får en ökad prestanda. Om man istället vill använda värmen från solfångarna till mer än endast ökning av SCOP-faktorn bör man kanske utveckla och undersöka de andra två teknikerna också.

I projektet norra vitsippan användes ackumulatortankar för dygnslagring av varmt vatten som används direkt i byggnaderna. För det här projektet kommer en sådan lösning inte vara lika effektiv då solfångarna främst kommer att användas till att effektivisera bergvärmen. En ackumulatortank i mindre skala hade kunnat användas för att effektivisera bergvärmepumpen även nattetid.

6.2 Energibehov och flödesschema

Energibehovet kommer att variera kraftigt under året då uppvärmningsbehovet under vintern är mycket högre än under sommaren vilket visualiseras i figur 8. I flödeschemat framgår att flödet från solfångarna kommer att ledas olika beroende på den temperatur som vattnet kommer upp i. Det kommer också göra flödeschemat mer säsongsberoende. Kylbehovet för anläggningen är inte känt men antas vara försumbart. Om det i framtiden skulle visa sig finnas ett kylbehov går det att under sommaren nyttja bergvärmesystemet för att kyla istället för att värma. Ett problem som då uppstår är att lösningen att effektivisera bergvärmen med hjälp av solfångare istället blir kontraproduktiv då det uppvärmda grundvattnet leder till utebliven kyleffekt.

6.3 Rimlighetsanalys

6.3.1 Ishall

Uppvärmningen i en normalstor ishall står för 277 MWh varje år. Simuleringarna för detta projekt resulterade i att ishallen kommer att ha ett uppvärmningsbehov på 486 MWh per år. Med tanke på att ishallen i detta projekt är större än genomsnittet, är detta värde rimligt.

6.3.2 Depån

Depån kommer att bestå av en uppställningshall, en verkstad samt ett kontor. Sammantaget har depån ett årligt uppvärmningsbehov på 879 MWh. Detta värde anses rimligt eftersom det ligger nära uppvärmningsbehovet för spårvagnsdepån Ringön i Göteborg. Enligt energiberäkningar hade verkstadshallen ett uppvärmningsbehov på cirka 336 MWh och drifhallen 409 MWh. Summerat blir det ungefär 750 MWh per år Skanska (2021).

6.3.3 Multifunktionell byggnad

För att bedöma rimligheten av det beräknade uppvärmningsbehovet i den multifunktionella byggnaden jämförs siffrorna med Dansmästarens som är placerad i Uppsala, Rosendal. Genom att summera Dansmästarens uppvärmningsbehov per månad år 2020 uppgick det totala uppvärmningsbehovet till 1147 MWh (Nordqvist 2024). Det beräknade värdet genom simuleringen i UUBEM anses därmed rimligt då det totala uppvärmningsbehovet uppgick till 1149 MWh per år.

6.4 Under byggnadsfasen

Då byggnaderna kommer att tillkomma i olika takt behöver spårvagnsdepåbygget ha de andra projekten i åtanke under byggnadsfasen. Enligt bergvärmeföretaget Nibe eric green är det mest lönsamma att genomföra all borrning vid samma tillfälle. Som nämns under kapitel 7.5 bör även den gemensamma undercentralen färdigställas i anslutning till depån. I marken bör det även förberedas ledningar så att solfångarvärme och spillvärme från ishall och multifunktionell byggnad kan dras till undercentralen samt att värme till uppvärmning och varmvatten kan dras tillbaka till byggnaderna. I samband med anslutningen av fjärrvärme under byggnationen kan även returslingorna för fjärrvärmens dras på ett sådant sätt att marken utanför depån värms så att snöröjning blir överflödigt.

6.5 Felkällor

För simuleringen i detta projekt gjordes en del antaganden som kan ha medfört felkällor. Stora delar av simuleringen bygger på antaganden om byggnadernas egenskaper men detta måste göras för att kunna få fram ett resultat. Som exempel är det att antal personer som vistas i byggnaderna vissa tider, U-värden, flödesströmmar av luft med mera. Ett antagande som har relativt stor påverkan på resultatet är mängden spillvärme från kylmaskinerna. Under avsnittet 3.2.2, Spillvärme från ishall, beräknas kylsystemet producera 1200 MWh. Denna uppskattning baseras på att en standardstor ishall vanligtvis producerar cirka 1100 MWh samtidigt som hänsyn tas till att ishallen i detta projekt kommer att vara större. Beroende på ishallens typ och dess anläggningskomponenter kan både uppvärmningsbehovet och mängden producerad spillvärme variera avsevärt. Likaså spelar den multifunktionella byggnadens typ en betydande roll för uppvärmningsbehovet.

I modellen så har det antagits att alla lokalerna i spårvagnshallen är som slutna utrymmen. I verkligheten så tappar dessa utrymmen mer värmeenergi när spårvagnarna kommer in i lokalerna. Är det många spårvagnar som kommer in efter en kall vinterdag så har detta en stor betydelse i verkligheten. Samma sak gäller för den multifunktionella byggnaden som har en livsmedelsbutik men i själva verket behandlas denna som ett slutet utrymme i modellen.

7 Slutsats

För att minska beroendet av fjärrvärmens så är bergvärme kombinerat med solfångare, spillvärme och ridåvärmare den lösning som täcker det största årliga behovet utan att antalet borrhål blir för många, vilket var ett av projektets begränsningar. Solfångarna används för att öka SCOP-faktorn för bergvärmens snarare än att värma upp byggnaden direkt. Anledningen till att antalet borrhål skulle minimeras beror på att berggrunden och grundvattnet på den avsedda platsen kan vara känsligt för allt för stora förändringar. Totalt skulle det behövas 59 borrhål som är drygt 326 meter djupa för bergvärmens ifall man räknar med spillvärmens som minskar effektbehovet. Då täcks 79 procent av effektbehovet under den kallaste dagen på året. De sista 21 procenten kan täckas upp av fjärrvärmens. Solfångarna kommer att ta upp en yta på 460 m² på taken och ackumulatortankar kan även användas för att lagra värme från solfångarna och värma därmed upp bergvärmens under nattetid. Det skulle krävas 2 stycken 20 000 liters ackumulatortankar som totalt skulle täcka en area på 14 m². Undercentralen måste byggas vid spårvagnsdepån eftersom att denna ska byggas före den multifunktionella byggnaden och ishallen. Den spillvärme som producerats i ishallen täcker mer än ishallens behov och vinsten i att kombinera solfångare på depåtaget med bergvärmens för de tre byggnaderna kommer vara gynnsamt för alla tre byggnader.

Tack till medverkande

Projektarbetet skulle inte vara möjligt utan hjälp från:

Anders Larsolle, Ingrid Strid, Rafael Waters, Jonas Eriksson, Oscar Monie, Jakob Jamot och Anders Degerstedt.

Referenser

- Costa, JJ, LA Oliveira och MCG Silva (2006). “Energy savings by aerodynamic sealing with a downward-blowing plane air curtain—A numerical approach”. I: *Energy and buildings* 38.10, s. 1182–1193.
- Frico (2024). *Tatra Luftridaer industri*. <https://www.frico.net/sv/produkter/luftridaer/luftridaer-industri/tatra>. (Hämtad 2024-05-14).
- Johansson, Patric (april 2024). *Intervju Patric Johansson, Optima Energi*.
- Nordqvist, Tomas (2024). *Energiansvarig på Uppsalahem AB. Tomas Nordqvist, personlig kommunikation*.
- Region Uppsala (2024). *Spårväg i Uppsala*. <https://regionuppsala.se/det-har-gor-vi/regional-utveckling/infrastruktur/och-infrastruktur-fyra-spar/sparvag/>. (Hämtad 2024-05-07).
- Skanska (2021). *Energiberäkning Drifthall och Verkstad Spårvagnsdepå Ringön*.
- Uppsala Kommun (2021). “Fördjupad översiktsplan för de Sydöstra stadsdelarna, inklusive Bergsbrunna”. I: (hämtad 2024-05-07).
- Viessmann (u.å.). *Teknisk data för Vitosol 300-TM och Vitosol 200-F*.

Delrapporter

Delrapport 1
Solfångare
Maja Aleberg Tellqvist

Delrapport 2
Bergvärme
Elise Lamenoise och Linda Brante

Delrapport 3
Ackumulatortank
Eric Hjerm

Delrapport 4
Multifunktionell byggnad
Eric Hjerm

Delrapport 5
Fjärrvärme
Eric Hjerm och Eric Rosén

Delrapport 6
Spårvagnsdepå
Emil Sandros och Elise Lamenoise

Delrapport 7
Kombisystem
Tilde Örn

Delrapport 8
Spillvärme
Tilde Örn och Linda Brante

Delrapport 9
Modellering
Elise Lamenoise, Emil Sandros och Eric Rosén

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.