



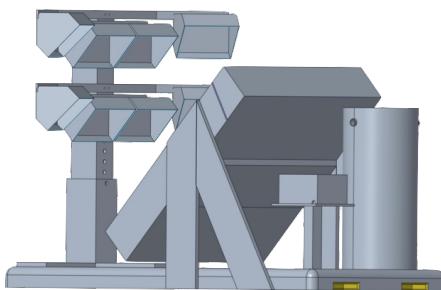
Linköpings Universitet
Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling

Kandidatarbete 15 högskolepoäng
Civilingenjörsprogrammet i Maskinteknik

Vårterminen 2020

Konstruktion och styrning av ett småskaligt solvärmesystem

Construction and control of a small scale
solar heating system



Emil Boström
Petrus Eriksson
Daniel Pettersson

Projektägare: Johan Renner
Handledare: Johan Hedbrant
ISRN nummer: LIU-IEI-TEK-G-20/01725—SE

Sammanfattning

Detta är första året på ett treårigt projekt vars slutgiltiga mål är att ta fram ett småskaligt solvärmesystem lämpat för laborationsarbeten. Syftet med denna rapport var att ta fram underlag för konstruktion av ett småskaligt solvärmesystem. I detta underlag ingick CAD-ritningar, materialval samt ett reglersystem för pumpstyrning. Solvärmesystemet ska användas i laborationer vid Linköpings universitet och drivs av en artificiell sol i form av strålkastarlampor.

För att ta fram CAD-ritningar för alla komponenter ritades först layout-skisser över olika koncept. Systematisk konceptutveckling enligt Liedholms metoder användes för att ta fram de bästa koncepten. Programvaran CES användes sedan för att ta fram materialkandidater för respektive komponent. Mikrokontrollerkort, sensorer och pump till pumpstyrningen valdes utifrån uppställda krav på systemet och i samråd med handledare. Arduino valdes som mikrokontrollerkort och all kod skrevs i deras egna programvara. Två olika simuleringar gjordes för att testa pumpen för olika styrningar, som båda använde sig av on/off-reglering. En tredje kod skrevs för varvtalsreglering med hjälp av PWM styrning, men simulerades inte.

Resultatet för maskinkonstruktionen var att den artificiella solens vinkel mot solfångaren kan justeras genom att ändra höjd och vinkel på den ställning den är fäst på. Materialet för solställningen valdes till rostfritt stål, bottenplattan ska byggas i MDF och har infrästa handtag för att underlätta transport av systemet. Solfångarställningen ska även den göras i MDF.

Abstract

The purpose of this report was to produce proposals of design, materials, and control system for a small scale solar heating system heated by an artificial sun based on lamps. This report is part of a three year project to build a solar heating system and this is the first year of the project. Next years group will use this report to build the physical system. The system will be used in laboratory work at Linköping university.

At first hand drawn sketches were made for different concepts. The best concepts were decided based on Liedholms systematic methods. The program CES was used for material selection for every component. Microcontroller, sensors and pump for the control system were chosen based on system criterias and in collaboration with the project supervisor. Arduino was chosen as microcontroller and all code was written in their software. Two simulations were done to test the pump, both using on/off control. A third code was written for rotational speed control using PWM, but was not simulated.

The resulting solution for the mechanical constructs was that the artifical sun's angle can be changed. This is done by changing the hight of the solar stand and adjusting the angle of the lamps. The material for the solar stand was chosen to be stainless steel, the plate, upon the whole system is built on, will be made in MDF and has milled grips to make it easy to transport. The solar collector stand will also be made in MDF.

Innehåll

| | |
|---|-----------|
| 1 Inledning | 1 |
| 1.1 Bakgrund och syfte | 1 |
| 1.2 Mål | 2 |
| 1.3 Frågeställningar | 2 |
| 1.4 Avgränsningar | 3 |
| 2 Teori | 4 |
| 2.1 Solvärmesystem | 4 |
| 2.1.1 Solfångare | 4 |
| 2.1.2 Ackumulatortank | 5 |
| 2.1.3 System med värmeväxlare | 5 |
| 2.1.4 System utan värmeväxlare | 6 |
| 2.1.5 Ledningar | 6 |
| 2.2 Pumpreglering | 6 |
| 2.2.1 Pump och pumpreglering | 7 |
| 2.2.2 Mikrokontrollerkort | 8 |
| 2.2.3 Temperatursensor | 8 |
| 2.3 Maskinkonstruktion och materialval | 9 |
| 2.3.1 Liedholms - systematisk konceptutveckling | 9 |
| 2.3.2 Systematiskt materialval | 9 |
| 3 Metod | 11 |
| 3.1 Maskinkonstruktion | 11 |
| 3.1.1 Systematiskt materialval | 11 |
| 3.2 Pumpreglering | 12 |
| 4 Konstruktionsmetodik | 13 |
| 4.1 Maskinkonstruktion | 13 |
| 4.1.1 Kritisk granskning av problemet | 13 |
| 4.1.2 State of the art | 13 |
| 4.1.3 Teknisk och ekonomisk genomförbarhet | 14 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1.4 | Konstruktionskriterielista | 15 |
| 4.2 | Pumpreglering | 15 |
| 4.2.1 | Kritisk Granskning av problemet | 15 |
| 4.2.2 | State of the art | 16 |
| 4.2.3 | Teknisk och ekonomisk genomförbarhet | 16 |
| 4.2.4 | Konstruktionskriterielista | 17 |
| 5 | Genomförande | 18 |
| 5.1 | Maskinkonstruktion | 18 |
| 5.1.1 | Solfångare och absorbator | 18 |
| 5.1.2 | Solfångarställning | 18 |
| 5.1.3 | Ackumulatortank | 20 |
| 5.1.4 | Bottenplatta | 21 |
| 5.2 | Reglering av sol och solfångare | 22 |
| 5.2.1 | Höjd- och vinkeljusterbar solställning | 23 |
| 5.2.2 | Datorbox | 26 |
| 5.3 | Pumpreglering och simuleringar | 26 |
| 5.3.1 | Kodning | 27 |
| 5.3.2 | Simulering | 27 |
| 5.3.3 | Varvtalsreglerat system | 29 |
| 5.3.4 | Pumpkurva | 30 |
| 6 | Resultat | 31 |
| 6.1 | Maskinkonstruktion och layout | 31 |
| 6.1.1 | Solfångare och absorbator | 31 |
| 6.1.2 | Bottenplatta | 31 |
| 6.1.3 | Solfångarställning | 33 |
| 6.1.4 | Ackumulatortank | 34 |
| 6.1.5 | Datorbox med ställning | 35 |
| 6.1.6 | Solställning | 36 |
| 6.1.7 | Färdigt designkoncept | 37 |
| 6.2 | Pumpreglering | 38 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 6.2.1 | Pumpkurva | 39 |
| 6.3 | Pumpsimulering | 40 |
| 7 | Diskussion | 43 |
| 7.1 | Maskinkonstruktion och koncept | 43 |
| 7.1.1 | Driftsäkerhet och förflyttande av systemet | 43 |
| 7.1.2 | Livslängd | 44 |
| 7.1.3 | Placering av de olika systemkomponenterna | 44 |
| 7.1.4 | Koncept bottenplatta | 45 |
| 7.1.5 | Koncept solställning | 45 |
| 7.1.6 | Systematiskt materialval | 45 |
| 7.2 | Pumpreglering | 46 |
| 7.2.1 | Kablar | 46 |
| 7.2.2 | Resistor till temperatursensorer | 47 |
| 7.2.3 | Montering av temperatursensorer | 47 |
| 8 | Slutsats | 48 |
| Källor | | 50 |
| Bilagor | | 52 |
| A Inköpslista | | 52 |
| B Setup kod | | 53 |
| C Kod Simulering - Temperaturreglerad | | 54 |
| D Kod Simulering - Tidsreglerad | | 55 |
| E Kod - Varvtalsreglerad | | 56 |
| F Materialva bottenplatta - CES | | 58 |
| G Materialval solställningen - CES | | 60 |

Figurer

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Bild över hur en plan solfångare är uppbyggd. [3] | 4 |
| 2 | Bild över hur ett solvärmesystem med värmeväxlare kan se ut. [5] | 6 |
| 3 | Skiss över placering av givare i dykrör. Källa: Svensk Solenergi. [6] | 9 |
| 4 | Bild på existerande artificiell sol konstruerad av 8 st halogenlampor. | 14 |
| 5 | Solfångaren samt den innehållande absorbatorplattan i snitt. | 18 |
| 6 | Ställning till solfångaren. | 20 |
| 7 | Ställning till solfångaren med ackumulatortanken i en låda. | 20 |
| 8 | Ackumulatortank. | 21 |
| 9 | Bottenplatta med handgrepp. | 22 |
| 10 | Koncept 1 till vänster och koncept 2 till höger. | 22 |
| 11 | Höjdjusterbar solställning. | 23 |
| 12 | Lösning med vinklade hållare för lamporna för att undvika överlapp. Bilden är sedd ovanifrån. | 24 |
| 13 | Till vänster är skiss över solställningen vid 0° och till höger vid 45° vinkel på lamporna. | 25 |
| 14 | Skiss över datorbox. | 26 |
| 15 | Uppställning för simulering. | 28 |
| 16 | Solfångaren samt den innehållande absorbatorplattan. | 31 |
| 17 | Två olika vinklar av bottenplattan. | 31 |
| 18 | Solfångarställningen. | 33 |
| 19 | Ackumulatortank. Halva isoleringen är borttagen på bilden för att visa hur tanken ser ut. Från det gröna röret kommer vatten pumpas in till absorbatorn och till det röda kommer vatten från absorbatorn. | 34 |
| 20 | Datorbox med tillhörande ställning. | 35 |
| 21 | Färdig solställning till vänster. Höjd: 420mm i sitt nedersta läge samt 620mm i sitt översta läge. Solställningen är 645mm bred. Till höger syns en strålkastare med justerbar vinkel. | 36 |

| | | |
|----|--|----|
| 22 | Fyra olika infallsvinklar av det färdigställda designkonceptet. De två bilderna till vänster visar systemet med 45° vinkel på solen och de två till höger med 0° vinkel. | 37 |
| 23 | Grafisk representation av kopplingarna mellan Arduino, sensorer och pump. | 38 |
| 24 | Uppställning för pumpstyrningen med kopplingar mellan Arduino, mosfet, pump och sensorer. | 39 |
| 25 | Flödeshastighet vid olika uppfodringshöjder vid 4W respektive 6W. . . | 40 |
| 26 | Pumpsimulering med temperaturreglering. | 41 |
| 27 | Pumpsimulering med tidsreglering. | 42 |

Tabeller

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Konstruktionskriterielista för maskinkonstruktion | 15 |
| 2 | Konstruktionskriterielista för pumpreglering | 17 |
| 3 | Bivillkor och målfunktioner för solfångarställning | 19 |
| 4 | Bivillkor och målfunktioner för bottenplattan | 21 |
| 5 | Olika koncept för att justera infallsvinkeln mellan sol och solfångare . | 22 |
| 6 | Målfunktioner och bivillkor vid framtagning av material för solställningen | 24 |
| 7 | Lista över för och nackdelar för materialkandidater | 32 |

1 Inledning

Marknaden för solvärmesystem har under 2000-talet sett ett uppsving vad gäller teknik, efterfrågan och försäljning. Enligt Boverket har försäljningen av solfångare trefaldigats sedan år 2000. En faktor som tros ligga bakom ökningen är att lönsamheten kopplat till solvärmesystem ökat och med det dess konkurrenskraft kontra andra uppvärmningsalternativ. Att lönsamheten ökat kan delvis härledas till den tekniska utveckling som skett för solvärmesystem, vilket har minskat kostnaden för att installera ett solvärmesystem, men även för att andra alternativ blivit dyrare såsom el. [1]

Även solvärmesystems miljöfördelar driver utvecklingen framåt. Miljöfördelarna beror främst av att systemet inte generar utsläpp och avfall under tiden som det är i bruk. Ett solvärmesystem beräknas ha en livstid på omkring 30-50 år, vilket är mycket fördelaktigt ur både ett användar- och miljöperspektiv. [2]

Det är därför viktigt att utbilda framtida ingenjörer om hur solvärmesystem fungerar och hur de kan förbättras. För att detta ska vara möjligt behöver man kunna utföra laborationer pålitligt. Solvärmesystem kräver att det är soligt utomhus, vilket gör att det kan vara svårt att planera laborationer. En lösning på detta är att bygga ett småskaligt system som använder sig av en artificiell sol, vilket denna rapport har tagit fram underlag för.

1.1 Bakgrund och syfte

Arbetet är uppdelat mellan tre grupper, som alla skriver en rapport inom respektive delområde. Denna rapport är en av tre, vars syfte är att ta fram underlag för vidareutveckling av ett småskaligt solvärmesystem lämpligt för laborationsarbeten. Detta är första året på ett treårsprojekt som leds av Johan Renner på institutionen för ekonomisk och industriell utveckling (IEI). Följande gruppindelningar är sedan tidigare fastställda:

- Grupp 1: Mek/värmeöverföring

- Grupp 2: Mek/värmeöverföring
- Grupp 3: Maskinkonstruktion och mekatronik

Arbetet i denna rapport är genomfört av grupp 3. Förslag på maskinkonstruktion och reglering ska därmed tas fram. Långsiktigt är tanken att resultatet i denna rapport ska appliceras praktiskt nästa år i ett fungerande system. Som slutligen, under det tredje året förfinas och görs till en fungerande laborationsstation.

Detta arbete påverkades mycket av de två andra gruppernas val. Krav som de två andra grupperna kom med var att ackumulatortankens volym sattes till 5 liter, antalet lampor till solen sattes till åtta stycken och solfångarens dimensioner bestämdes. Ytterligare ett krav som ställdes från en av grupperna var att solens vinkel mot solfångaren skulle gå att få till 45 grader samt att solen minst skulle vara 20 centimeter ifrån solfångaren.

1.2 Mål

Målet för projektet är att skapa ett designkoncept för systemet i form av CAD-ritningar, där alla komponenter ingår, samt att skapa ett fungerande reglersystem för pumpen där även temperaturdata kan hämtas ut. Underlaget som tas fram i denna rapport ska kunna användas av nästa års maskinkonstruktions och mekatronik-grupp för att ta fram ett system i praktiken.

1.3 Frågeställningar

- Pumpreglering
 - Hur kan pumpregleringen utformas så att det går att köra solvärmesystemet utifrån olika syften? Exempelvis om man vill ha en stor volym brukbart varmvatten eller om man istället vill ha väldigt varmt vatten, men att det tar längre tid.
- Maskinkonstruktion

- Hur kan solvärmesystemet konstrueras för att vara driftsäkert, lätt att transportera och förvara samt ha en lång livslängd?
- Hur ska infallsvinkeln mellan solen och solfångaren justeras?

1.4 Avgränsningar

Då grupp 1 och grupp 2 behandlar det teoretiska arbete förknippat med termodynamik har vissa beslut överlätts till dem. Därmed har vissa avgränsningar på detta arbete satts upp, även med hänsyn till den tid som finns att tillgå för projektet.

- Materialval och utformning av de komponenter där termodynamiska egenskaper är av stor vikt kommer att fastställs och dimensioneras av de andra grupperna. Detta inkluderar ackumulatortank, absorbator, rör samt isolering till dessa komponenter. Denna rapport fokuserar istället på sammansättningen av dessa till ett komplett system.
- Den artificiella solen behandlas inte i denna rapport, förutom den ställning som den ska fästas på och hur den ska vinklas.
- Vattnet som värmes upp i tanken kommer inte ha något syfte efter att det värmes upp. Systemet i sin helhet kan därför betraktas som slutet.
- Ett fullständigt laborations-pm kommer inte att hanteras i denna rapport.

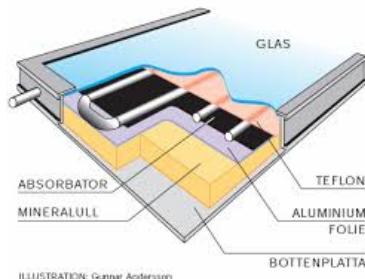
2 Teori

2.1 Solvärmesystem

Solvärmesystem finns i olika modeller och varianter, de flesta har dock ett och samma huvudsakliga syfte, att omvandla solenergi till värmeenergi. Nedan listas och beskrivs de komponenter som ett solvärmesystem består av.

2.1.1 Solfångare

Solfångaren är den del av systemet där vattnet värmes upp av solinstrålning. Således är det en viktig del av systemet och fokus bör läggas på att utforma denna så effektivt som möjligt. De vanligaste solfångartyperna har en plan yta och består av någon typ av isolering på baksidan, en absorbator och en transparent skiva, ofta i glas på sidan mot solen, se figur 1. [3]



Figur 1: Bild över hur en plan solfångare är uppbyggd. [3]

Absorbatorn har till uppgift att överföra värmen från solen till systemet. Detta görs ofta med tvärgående rör fästa på en metallplatta innehållandes en värmebärande vätska, exempelvis vatten, som transporterar värmeenergin som skapats i solfångaren till ackumulatortanken . [3]

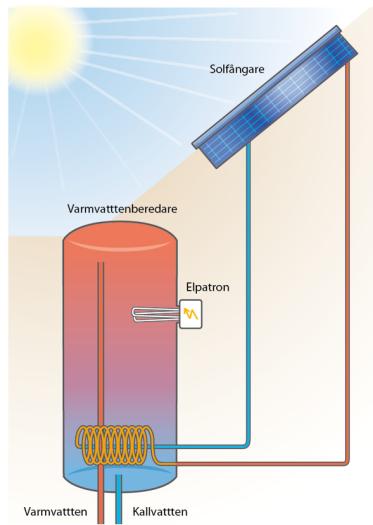
Den transparenta täckskivans syfte är att släppa in strålningen från solen samt isolera absorbatorn och minska konvektion. Materialet och dess dimensioner bör därför väljas med hänsyn till att så mycket solenergi som möjligt ska kunna tas upp av absorbatorn. Själva solfångaren bör vara mycket tät och välisolerad för att undvika värmeförsluster. [3]

2.1.2 Ackumulatortank

Ackumulatortankens huvudsakliga syfte är att förvara varmt vatten och att hålla vattnet isolerat. Det är även i ackumulatortanken som värmeöverföringen från solfångaren sker. För att få ett effektivt solvärmesystem krävs att tanken är välisolerad samt att god skiktning uppnås. Skiktning i tanken uppstår naturligt då varmt vatten har lägre densitet än kallt och därmed stiger till toppen av tanken [3]. Beroende på om systemet har en värmeväxlare eller inte utformas dock tanken olika.

2.1.3 System med värmeväxlare

System med värmeväxlare fungerar genom att en vätska i absorbatorrören tar upp värmeenergi från omgivande luft i absorbatorn. Sedan överförs denna värme till ackumulatortanken genom att pumpa samma vätska till spiralformade kamflänsrör i tanken. Denna vätska flödar konstant i systemet så länge en tillräcklig temperaturdifferens råder mellan ackumulatortanken och absorbatorn. Detta möjliggör en värmeöverföring mellan vätskan med högre temperatur i rören till vattnet med lägre temperatur i tanken [4]. Funktionen kan liknas med den för hushållselement, där luften som värmes av elementet motsvarar vattnet som värmes upp i tanken av de spiralformade kamflänsrören. För att få en hög värmeöverföring till tanken placeras värmeväxlaren med fördel i botten av tanken, där temperaturen är som lägst. Se figur 2 för bild.



Figur 2: Bild över hur ett solvärmesystem med värmeväxlare kan se ut. [5]

2.1.4 System utan värmeväxlare

Skillnaden mellan ett system utan värmeväxlare och ett med är att vätskan som värmes upp i absorbatorn är samma vätska som pumpas in i tanken. Varmt vatten pumpas därmed fritt in i tanken och blandas med vattnet med lägre temperatur. Därmed är det viktigt att inte skapa turbulens i ackumulatortanken. Detta förstör skiktningen och leder till ett mindre effektivt system. Inflödet från absorbatorn bör därmed inte ha en för hög hastighet, samt ske i den övre delen av tanken. Utflödet placeras i botten av tanken, vilket leder till att det kallaste vattnet pumpas in i absorbatorn och maximal effektivitet uppnås.

2.1.5 Ledningar

Rören som löper från solfångaren till tanken med uppvärmt vatten bör vara isolerade, för att minimera oönskade värmeförluster längs vägen.

2.2 Pumpreglering

Syftet med pumpreglering av ett solvärmesystem är att transportera varmt vatten från solfångaren till tanken vid en önskad temperatur på vattnet i solfångaren. Komponenter som ingår för att göra en pumpreglering är: pump,

mikrokontrollerkort och temperatursensorer.

2.2.1 Pump och pumpreglering

Pumpens syfte är att kontrollera vattenflödet genom systemet. Då optimal temperatur uppnåtts på vattnet i solfångaren pumpas det varma vattnet vidare till ackumulatortanken. Nytt kallare vatten pumpas från tanken in i absorbatorn för att värmas upp på nytt.

Vid val av pump måste storleken på systemet beaktas, så att tillräckligt hög flödeskapacitet och uppfodringshöjd från pumpen kan genereras.

Det finns främst två stycken metoder som används för att reglera en pump, on/off reglering och varvtalsreglering. On/off reglering innebär att pumpen går mellan att pumpa på maxeffekt och att vara avstängd och är den enklaste av de två regleringsmetoderna. Varvtalsreglering bygger istället på att pumpen pumpar med olika flöden beroende på temperaturdifferensen mellan ackumulatortank och absorbator. Ett exempel skulle kunna vara att när absorbatorn är 5°C varmare än ackumulatortanken går pumpen på 50% av maxeffekt och när temperaturskillnaden når 15°C eller högre kör den på 100% effekt. Detta innebär att det generellt sett är lägre flöde genom systemet än vid on/off reglering, eftersom temperaturskillnaden oftast inte når 15°C. En av fördelarna med varvtalsreglering är att det är lättare att uppnå skiktning i ackumulatortanken, på grund av att det generellt är lägre flöde i systemet. Det går även snabbare att värma upp stora mängder vatten till brukningsbar temperatur. Fördelen med on/off reglering är istället att vattnet blir varmare, men inte lika fort som vid varvtalsreglering [6]. Enligt Svensk Solenergi bör dock inte ett lågflödessystem användas på ett solvärmesystem med en värmeväxlare i botten. Detta då det leder till att tanken omblandas och skiktningen förstörs. [6]

För att praktiskt uppnå en varvtalsreglering kan en mosfet användas. Den använder sig av pulsbreddsmodulering, förkortat PWM, vilket bygger på att pulser

med ström skickas igenom istället för en konstant ström. Exempelvis kan mosfeten släppa igenom ström, vänta 70ms, stänga av tillförsen av ström, vänta 30ms, och repetera. I praktiken blir det som att pumpen går på 70% effekt.

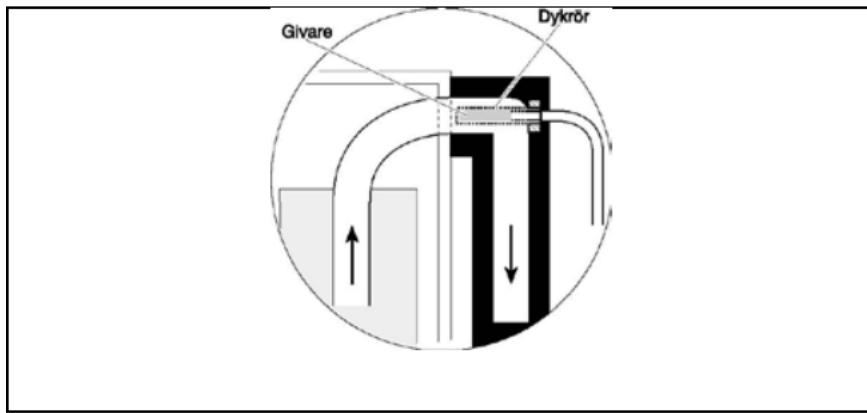
2.2.2 Mikrokontrollerkort

Mikrokontrollerkortets syfte i ett solvärmesystem är att samla in och skicka ut signaler, samt att förse sensorerna med ström. Den tar in signaler från temperatursensorer och skickar sedan ut signaler till pumpen. Denna styrning görs genom att en programkod skickas till mikrokontrollerkortet från en dator som sedan lagras i kortets minne. Exempel på mikrokontrollerkort är Arduino och Raspberry Pi.

2.2.3 Temperatursensor

En temperatursensor mäter temperaturen i sin omgivning och skickar denna information till ett mikrokontrollerkort. I ett solvärmesystem behövs temperatursensorer för att mäta temperaturen i tanken och i absorbatorn. Det medför krav på sensorn, såsom att den ska vara vattentät, samt klara de temperaturer som kan uppnås i ett solvärmesystem.

Det finns främst två sätt att montera en temperatursensor som ska mäta temperaturen i ett rör. Det första är att fästa sensorn på utsidan av röret. Det viktiga att tänka på vid denna montering är att isolera sensorn väl och att använda värmeleddningspasta för att få god kontakt mot röret. Det andra alternativet är att använda sig av ett dykrör, se figur 3.



Figur 3: Skiss över placering av givare i dykrör. Källa: Svensk Solenergi. [6]

Svensk Solenergi rekommenderar att man använder ett dykrör ifall det är möjligt. Fördelen är att den skyddar sensorn mot fysiska skador och underlättar byte av sensorn ifall den skulle sluta fungera. [6]

2.3 Maskinkonstruktion och materialval

2.3.1 Liedholms - systematisk konceptutveckling

Liedholms metoder syftar till att skapa ett effektivt arbete i de tidiga faserna i konstruktionsarbetet, det vill säga konceptframtagningen. Den metoden utgår från tre faser, varav första fasen har använts i detta arbete. [7]

- Konceptfas 1: Från problem till konstruktionskriterielista (KKL)
 - Kritisk granskning av problemet
 - Undersöka state of the art”
 - Undersök teknisk/ekonomisk genomförbarhet
 - Upprätta en konstruktionskriterielista

2.3.2 Systematiskt materialval

CES-EduPack är en programvara som tillhandahåller en stor databas med flertalet material och dess olika egenskaper. Genom att definiera önskade egenskaper och krav hos materialet för varje delkomponent underlättas arbetet med ett systematiskt

materialval. Materialkandidaterna kan sedan rangordnas och sållas med avseende på hur väl de uppnår ställda krav.

3 Metod

Nedan beskrivs den metod som användes för maskinkonstruktion respektive pumpreglering i projektet.

3.1 Maskinkonstruktion

Mycket av arbetet med maskinkonstruktionen skedde i samarbete med de andra två grupperna för solvärmesystemet. De ansvarade för ackumulatortank, solfångare och rör mellan dessa två komponenter. För att ta fram resterande komponenter hämtades först litteratur från tidigare solvärmesystem för att studera hur komponenterna kunde utformas. Liedholms metod för systematisk konceptutveckling användes, där granskning av problemet en state of the art analys genomfördes samt att en konstruktionskriterielista ställdes upp. Därefter ritades layoutskisser för olika koncept för att få en uppfattning av hur komponenterna kan se ut. Efter det gjordes en bedömning av vilka koncept som skulle tas vidare. Dessa blev sedan till CAD-modeller.

3.1.1 Systematiskt materialval

Materialvalet till maskinkonstruktionen gjordes genom ett förenklat systematiskt materialval, enligt följande metodik: [8]

- Konstruktionskrav
 - Uttryckta som målfunktioner och bivillkor
- Informationssammanställning av olika tänkbara materialkandidater
 - Material- och processegenskaper och övrig tillgänglig dokumentation.
- Jämförelse av olika materialkandidater
 - Genom att sätta, rangordna och sammanställa dokumentation över möjliga materialkandidater.
- Slutgiltigt val
 - Utifrån den sammanställda dokumentationen.

Materialvalsprocessen hanterades inledningsvis enskilt för varje komponent i maskinkonstruktionen eftersom varje komponent hade olika krav och användningsområden. Arbetet presenteras i kapitlet genomförande.

Programvaran CES Edupack användes för att ta fram materialkandidater för de respektive komponenterna. De antaganden och begränsningar som gjorts i det arbetet presenteras i bilaga F.

3.2 Pumpreglering

Målet med pumpregleringen var att ta fram ett fungerande reglersystem som kan användas för solvärmesystemet i en laboration. Utifrån det målet utfördes en problemgranskning med Liedholms metod. Kritisk granskning, state of the art och en konstruktionskriterielista skapades. Med hjälp av denna analys bestämdes den hårdvara som behövdes. Det inkluderade mikrokontrollerkort, pump, sensorer och mindre komponenter som kopplar ihop dessa. Detta bestämdes i samarbete med handledare Johan Hedbrant, som har tidigare erfarenhet av mekatroniska system. När dessa komponenter hade valts ut sattes de ihop till ett fungerande system. För att sätta ihop kopplingar till mikrokontrollerkortet togs hjälp från Youtube-videos. Därefter skrevs kod till systemet och testades i simuleringar för att se hur olika reglersystem presterar. Dessa simuleringar analyserades slutligen för att ge en bild av hur systemet presterar med olika styrsystem.

4 Konstruktionsmetodik

4.1 Maskinkonstruktion

4.1.1 Kritisk granskning av problemet

Konstruktionen måste vara intuitiv att använda för att laborationen som kommer utföras av studenter ska vara så effektiv som möjligt. Konstruktionen måste även vara lättproducerad, lättreparerad, kostnadseffektiv samt kompakt. Solens infallsvinkel ska kunna varieras. Vattnet i systemet ska kunna tömmas för att snabbt möjliggöra ett nytt genomförande med andra ingående parametrar.

Systemet ska ha lång livslängd, samt givetvis vara säkert att bruka. Kombinationen av elektricitet och vatten kräver eftertänksamhet vid materialval.

4.1.2 State of the art

Det har tidigare genomförts studier i småskaliga solvärmesystem vid Linköpings Universitet, däribland ett studentarbete från 2014. Det arbetet resulterade i en träkonstruktion med en ackumulatortank på 70 liter, samt en solfångare på 1m^2 . De använde den verkliga solen för uppvärming och uppnådde en verkningsgrad på cirka 35% [9].

En artificiell sol har även tagits fram tidigare, se figur 4. Den består av tio stycken halogenlampor, där varje lampa har en effekt på 120W.



Figur 4: Bild på existerande artificiell sol konstruerad av 8 st halogenlampor.

4.1.3 Teknisk och ekonomisk genomförbarhet

Den tekniska och ekonomiska genomförbarheten är hög, det finns gott om prisvärda material att tillgå för konstruktion av de ingående delarna. Lasterna på de berörda delarna kommer inte vara särskilt höga (storkleksklass 10-30kg) vilket gör materialval och hållfasthetsberäkningar mindre kritiska. Detta möjliggör ett enklare arbete i bland annat materialvalsprocessen.

4.1.4 Konstruktionskriterielista

Tabell 1: Konstruktionskriterielista för maskinkonstruktion

| Maskinkonstruktion | | |
|-------------------------------|---------------|------------|
| Egenskap | Krav/önskemål | vikt (1-5) |
| Ackumulatortank | | |
| Lagra Vatten | Krav | - |
| Tömmas på vatten | Krav | - |
| Fyllas med vatten | Krav | - |
| Vattentätt/tålig | Krav | - |
| Solfångare och Sol | | |
| Vinkeljusterbar solfångare | Önskemål | 3 |
| Vinkel- och höjdjusterbar sol | Önskemål | 3 |
| Hela Systemet | | |
| Hopfällbart system | Önskemål | 2 |
| $Yta \leq 1m^2$ | Krav | - |
| Total höjd $\leq 1m$ | Krav | - |
| Rullningsbar | Krav | - |
| $Vikt \leq 20kg$ | Krav | - |

4.2 Pumpreglering

Pumpregleringen kommer att variera beroende på om ackumulatortanken har en värmeväxlare eller inte. Regleringen kommer dock att styras av samma grundläggande villkor. Tillräckligt stor temperaturskillnad måste råda mellan ackumulatortank och solfångare för att det ska vara gynnsamt att driva systemet.

4.2.1 Kritisk Granskning av problemet

Problemet som pumpregleringen ska lösa är att transportera vatten från solfångaren till tanken när en viss temperaturdifferens har uppnåtts. För att genomföra detta behövs, som tidigare nämnt, tre stycken huvudkomponenter:

pump, mikrokontrollerkort och temperatursensorer. Utöver dessa behövs även diverse kablar, slangar, resistorer m.m.

Målet med regleringen är att det ska kunna skötas automatiskt via mikrokontrollerkortet, samt att data ska kunna hämtas ut från temperatursensorerna till en dator. Detta för att systemet ska kunna användas i en laboration.

4.2.2 State of the art

En guide till pellet- och solvärmesystem framtaget på Dalarnas Universitet [10] använde sig av tre stycken temeperatursensorer, en i solfångaren och två stycken i tanken. Den ena sensorn placerades vid nedre delen av tanken, vid utflödet till solfångaren, och den andra sensorn i den övre delen av tanken vid inloppet från solfångaren. Pumpen var programmerad att starta när temperaturskillnaden mellan solfångaren och sensorn vid inloppet var 10°C . När skillnaden sjunkit till 3°C stängdes pumpen av. Pumpen stängdes även av ifall temperaturen i tanken uppnådde en temperatur på 90°C . Liknande siffror har Svensk Solenergi kommit fram till i sin artikel Solvärmesystem för småhus". De skriver "En lämplig inställning kan vara att pumpen startar när temperaturen i solfångaren är 5°C högre än temperaturen i lagertanken." [6].

4.2.3 Teknisk och ekonomisk genomförbarhet

De tidigare diskuterade systemen använder sig av en värmeväxlare, något inte detta system kommer göra. Skillnaden utan värmeväxlare blir att när allt varmt vatten i solfångaren är tömt kommer kallt vatten pumpas in i tanken igen. En lösning på detta skulle kunna vara att pumpen är igång en bestämd tid istället för att stängas av vid en bestämd temperaturdifferens.

Allt material som behövs till pumpregleringen är billigt och systemet kan sättas ihop relativt enkelt.

4.2.4 Konstruktionskriterielista

Tabell 2: *Konstruktionskriterielista för pumpreglering*

| Pumpreglering | | |
|--|----------------------|-------------------|
| Egenskap | Krav/önskemål | vikt (1-5) |
| Vattentäta sensorer | Krav | - |
| Uppfordringshöjd på 3 meter | Krav | - |
| Mikrokort kompatibelt med valda sensorer | Krav | - |
| Sensor för instrålning | Önskemål | 3 |
| Styrbar pump | Krav | - |
| Sensor i rör i solfångare | Önskemål | 2 |

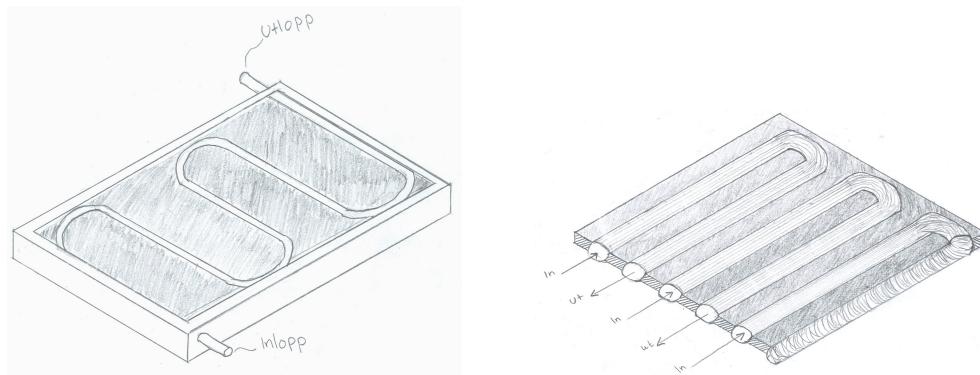
5 Genomförande

5.1 Maskinkonstruktion

Nedan presenteras framtagandet av målfunktioner, bivillkor och designkoncept, i form av skisser, för solvärmesystemet. Genomförandet för att ta fram dessa har varit genom diskussion inom gruppen och med de andra två grupperna. Diskussionerna grundas i litteratur som behandlar solvärmesystem och dess konstruktion samt kunskaper som tagits med från de tre första åren på programmet maskinteknik vid Linköpings Universitet.

5.1.1 Solfångare och absorbator

Ett av koncepten som skapades för absorbatorplattan är valsade rör i själva plattan, vilket kan se ut som figur 5 nedan. Detta koncept togs fram genom diskussion med grupp 1 som i detalj studerat solfångaren i sitt projekt.



Figur 5: Solfångaren samt den innehållande absorbatorplattan i snitt.

5.1.2 Solfångarställning

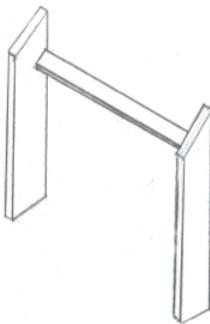
I tabell 3 listas de bivillkor och målfunktioner som togs fram för solfångarställningen.

Tabell 3: *Bivillkor och målfunktioner för solfångarställning*

| Funktion: Hålla solfångaren stabilt | |
|--|--------------------------------------|
| Bivillkor (ska uppfyllas) | Målfunktioner (bör uppfyllas) |
| Höjdsmått: $H \geq 300\text{mm}$ | Minimera pris |
| Ej knäckas vid extern last på 5kg | Maximera stabilitet |
| Ej bucklas vid extern last på 5kg | Vattentålighet |
| | Låg vikt |

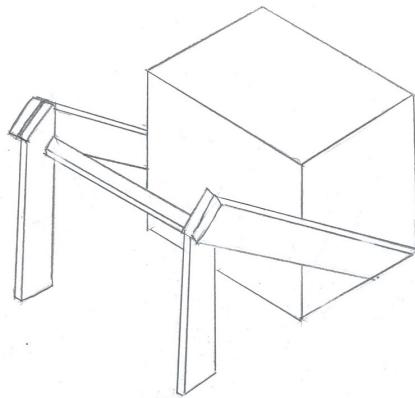
Utifrån diskussion och beräkningar ansågs det att lasterna på solfångarställningen inte kommer att vara särskilt höga, därför väljs med fördel samma material som för bottenplattan vid konstruktion av solfångarställningen, detta för att underlätta materialvalsprocessen och underlätta sammanfogning av de två materialen.

Solfångarställningens syfte är att hålla uppe solfångaren i en korrekt vinkel mot den artificiella solen. Två koncept har därefter tagits fram, där båda försöker minimera massa men samtidigt vara hållfasta. Det första konceptet, se figur 6, har endast två ben och en centrumpinne som solfångaren ska ligga emot. Denna lösning har väldigt låg vikt och tar inte upp mycket yta, men det finns risk att solfångaren inte håller sin korrekta vinkel över tid och att den tippar.



Figur 6: Ställning till solfångaren.

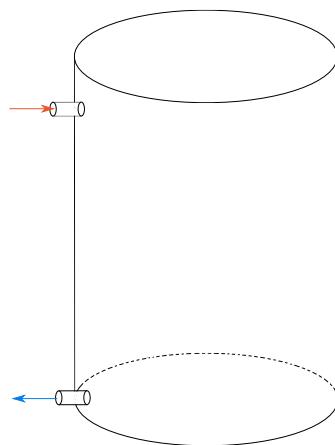
Det andra konceptet, se figur 7, ser likadant ut som det i figur 6 med tillägget att ställningen har två extra stabiliseringar. Dessa ben skulle kunna hjälpa till med att stabilisera och minska risken för att solfångaren tippar, dock till kostnaden av en något högre vikt.



Figur 7: Ställning till solfångaren med ackumulatortanken i en låda.

5.1.3 Ackumulatortank

Skissen som togs fram i figur 8 är av enkel karaktär och ska kunna lagra 5 liter vatten och isoleras så att värmeöverföring inte sker mellan tanken och omgivningen kring den. Framtagandet av denna skiss har gjorts i samråd med grupp 2 vilka har behandlat ackumulatortanken mer i detalj.



Figur 8: Ackumulatortank.

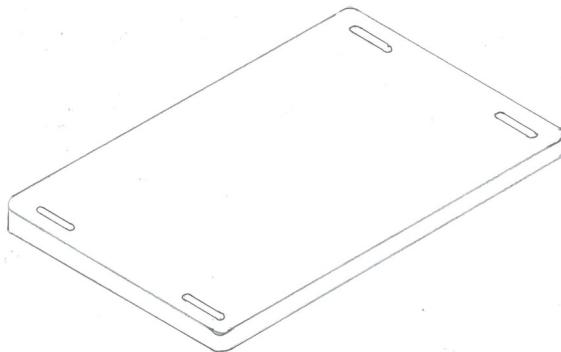
5.1.4 Bottenplatta

Bottenplattan som systemet står på måste vara stadig och lätt nog för att möjliggöra transport av systemet. Krav på hållfasthet ställdes därmed upp, samt tre stycken målfunktioner, se tabell 4. Se principskiss i figur 9.

Tabell 4: Bivillkor och målfunktioner för bottenplattan

| Funktion: Utgöra stabil grund för systemet. | |
|--|--------------------------------------|
| Bivillkor (ska uppfyllas) | Målfunktioner (bör uppfyllas) |
| Ytmått: 1150x460mm (LxB) | Minimera pris |
| Nedböjning \leq 2 cm i mitten vid 30kg punktlast | Minimera vikt |
| Ej plasticera vid maximal tillåten nedböjning | Vattentålighet |

Dessa parametrar översattes till funktioner anpassade för inmatning i CES, se bilaga F, där någon form av material kan väljas.



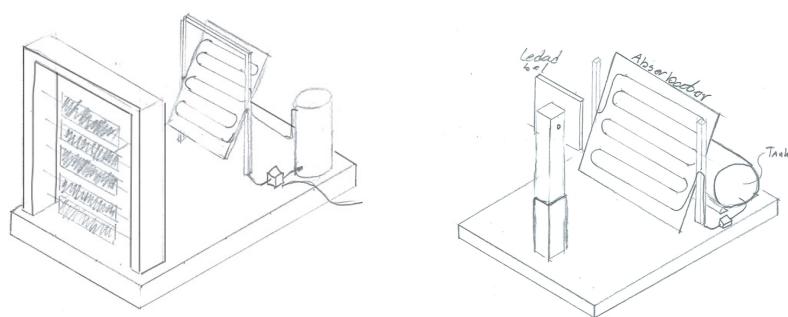
Figur 9: Bottenplatta med handgrepp.

5.2 Reglering av sol och solfångare

En av frågeställningarna för rapporten var hur vinkeln mellan solfångaren och solen kan justeras. Två koncept för att möjliggöra olika instrålningsvinkelar togs fram. Antingen varieras solfångarens- eller solens läge, se tabell 5 och figur 10.

Tabell 5: *Olika koncept för att justera infallsvinkeln mellan sol och solfångare*

| Koncept | | |
|---------|-----------|------------|
| nr. | Sol | Solfångare |
| 1 | Fast | Justerbar |
| 2 | Justerbar | Fast |



Figur 10: Koncept 1 till vänster och koncept 2 till höger.

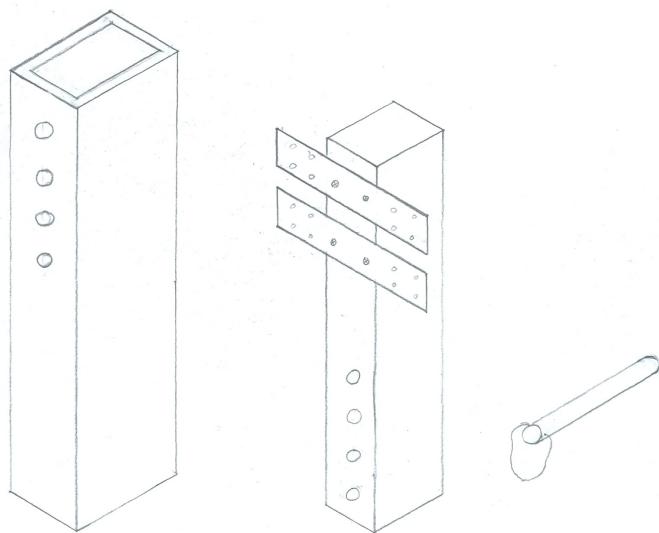
Bägge alternativ för med sig sina respektive för- och nackdelar.

Vid en justerbar solfångare måste vattenledningar mellan absorbator och tank vara flexibla för att möjliggöra denna rörelse. Detta försvårar isoleringen av rören. Samt ökar risken för att luft samlas i systemet.

En justerbar sol medför en mer komplicerad konstruktion och kan vara svårare att justera lika exakt som en justerbar solfångare.

5.2.1 Höjd- och vinkeljusterbar solställning

En lösning på vinkeljusteringen mellan solfångare och sol är att göra en höjd- och vinkeljusterbar solställning. Höjdjusteringen kan göras med en lösning som är vanlig för höjning och sänkning av stativ. Lösningen innebär att ställningen uppdelas i två cylindrar, där den ena cylindern har en lite mindre diameter än den andra vilket gör det möjligt för den att sänkas ner i den andra större cylindern. Sedan görs ett hål i den större cylindern och flertalet lodrätt föllda hål i den mindre. Se figur 11. Nu kan man genom att placera en lässprint genom hålet på den större cylindern och i valfritt hål på den mindre låsa ställningen i önskad höjd.



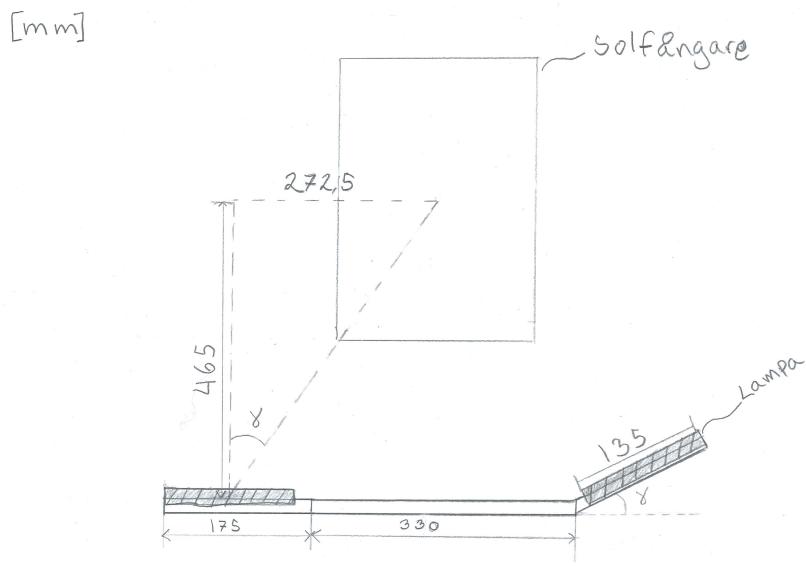
Figur 11: Höjdjusterbar solställning.

Nedanstående tabell 6 visar de parametrar som beaktades vid materialvalet för solställningen. Dessa önskade egenskaper infördes i CES vilket resulterade i en graf som visar olika tänkbara material och materialfamiljer. Se bilaga G.

Tabell 6: Målfunktioner och bivillkor vid framtagning av material för solställningen

| Solställning. Funktion: Hålla solen stabilt | |
|--|-------------------------------|
| Bivillkor (ska uppfyllas) | Målfunktioner (bör uppfyllas) |
| Höjd: 620mm | Minimera pris |
| Ej knäckas vid extern last på 5kg | Maximera stabilitet |
| Ej bucklas vid extern last på 5kg | Vattentålighet |
| | Låg vikt |
| | lättarbetat |

Designen för solställningen skapades med inspiration från tidigare artificiell sol, se figur 4. Ett problem med den lösningen var att lamporna överlappade och lös på varandra. För att lösa detta skapades en design med längre och vinklade hållare för lamporna, se figur 12.



$$\gamma = \arctan\left(\frac{272,5}{46,5}\right) = 26^\circ$$

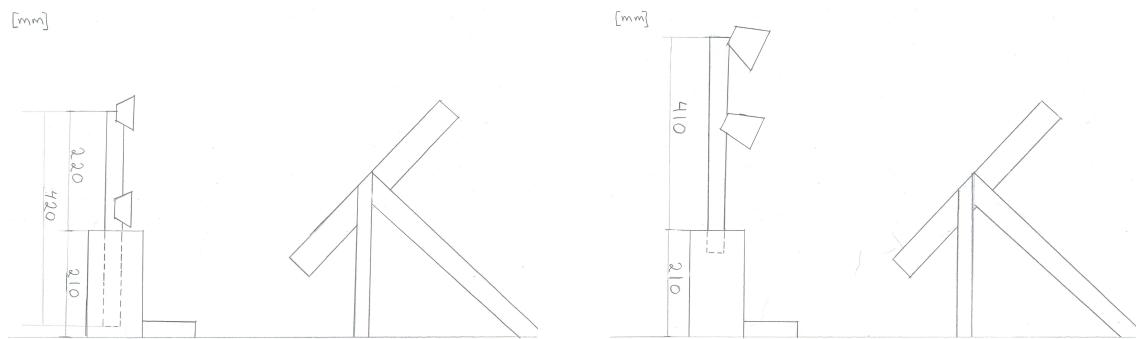
Figur 12: Lösning med vinklade hållare för lamporna för att undvika överlapp.

Bilden är sedd ovanifrån.

För att lamporna skulle lysa i centrum på solfångaren beräknades vinkelns γ till

26° . Den vänstra lampan ska även den vinklas 26° . Skillnaden gentemot figur 4 är att i denna lösning har varannan rad lamporna i mitten och varannan rad på sidorna enligt figur 12.

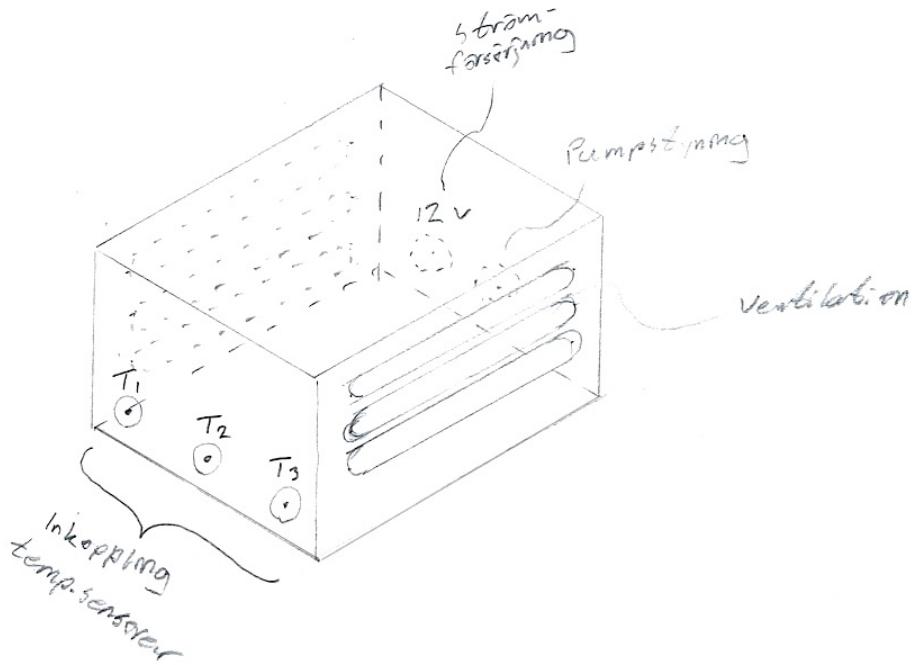
Lamporna ska även kunna justeras med 45° gentemot solfångaren. För att båda lamporna ska lysa på solfångaren både vid 0° och vid 45° måste höjden på solställningen anpassas. I figur 13 skissas hur de två olika vinklarna ser ut för solställningen.



Figur 13: Till vänster är skiss över solställningen vid 0° och till höger vid 45° vinkel på lamporna.

Höjderna valdes utifrån höjden och längden på solfångaren samt baserat på mätten på lamporna. Justeringen av lamporna sker genom att varje enskild lampa är fäst i en ställning som kan rotera 180° .

5.2.2 Datorbox



Figur 14: Skiss över datorbox.

För att kunna skydda mikrokontrollerkortet och dess tillhörande elektriska komponenter från vatten och att anslutningar av misstag dras ut, är en lösning att ett ihåligt rätblock med utgående hål där nödvändiga kablar till mikrokontrollerkortet dras in och anslutas. Se figur 14.

5.3 Pumpreglering och simuleringsar

Välet av Arduino som mikrokontrollerkort gjordes i dialog med handledare Johan Hedbrant, där det bedömdes att det var det enklaste och mest relevanta mikrokontrollerkortet för systemet. Fördelarna med Arduino är också att det finns mycket hjälp att få på internet genom forum och Youtube-videos, något som användes vid flertalet tillfällen under projektet. Även sensorerna valdes efter rådgivning med Johan Hedbrant, där DS18B20 sensorerna hade fördelen att vara vattentäta samt hade mycket installationshjälp på internet. Pumpen VMA421 valdes för att den hade en uppfordringshöjd på 3m, en maximal flödeshastighet på

240l/h och drevs på 12V samtidigt som den var liten och kunde enkelt kopplas till en mosfet. [11]

5.3.1 Kodning

All kodning utfördes i Arduinos egna programvara, som kan laddas ner gratis *här*. För att kunna hämta data från de temperatursensorer som användes behövdes ett antal bibliotek laddas ner. Det första heter Onewire och kan laddas ner via Github *här*. Det andra heter DallasTemperature och kan även det laddas ner via Github *här*. Ifall andra sensorer skulle användas skulle deras respektive bibliotek behöva laddas ner. Efter biblioteken har importerats till Arduinos programvara måste de även integreras i koden. All setup kod som behövs finns i Bilaga B. Mycket av koden är tagen ifrån bloggen XTronical [12].

5.3.2 Simulering

För att utvärdera vilken typ av pumpreglering som passar bäst för det solvärmesystem som ska byggas utfördes ett antal pumpsimlueringar. Hinkar fyllda med vatten av olika temperatur användes för att simulera ackumulatortank och solfångare.

Uppställningen bestod av tre stycken hinkar, som är grönmarkerade i figur 15.



Figur 15: Uppställning för simulering.

Hink 1 och 2 simulerade absorbatorn, där hink 1 hade kallt vatten och hink 2 varmt. Sensor 1, orangemarkerad i bilden, flyttades under simuleringen mellan hink 1 och 2 för att simulera att solen värmde upp vattnet. Hink 3 var från början fylld med kallt vatten, när sensor 1 flyttades till hink 2 startade pumpen och varmt vatten pumpades till övre delen av hink 3. Samtidigt öppnades det nedre utflödet från hink 3, för att simulera att kallt vatten pumpas in till absorbatorn igen. Sensor 0 var placerad vid utflödet och sensor 2 vid inflödet till hink 3.

Två olika typer av reglering simulerades, temperatur- och tidsreglering. Den temperaturreglerade styrdes av temperaturdifferensen mellan sensorn i absorbatorn, sensor 1, och sensorn i botten av ackumulatortanken, sensor 0. Pumpen sattes på när sensor 1 var 5°C varmare än sensor 0. Pumpen stängdes sedan av när sensor 1 endast var 2°C varmare än sensor 0. I koden löstes detta med hjälp av en if sats med ett else villkor. Eftersom att pumpen har en högsta

arbetstemperatur på 60°C sattes även ett villkor på att ifall temperaturen i sensor 0 var över 58°C skulle pumpen inte starta. Koden som skrevs för detta finns i Bilaga C. Denna kod ska ligga under setup koden, som är bifogad i Bilaga B.

Även den tidsreglerade simuleringen styrdes temperaturdifferensen mellan sensor 1 och 0, där pumpen startade vid en skillnad på 5°C. Skillnaden var dock att pumpen stängdes av efter en bestämd tid, som var satt till 10 sekunder. I koden motsvarade det en delay på 10 000 millisekunder. Därefter behövde pumpen vara avstängd tillräckligt länge för att sensorerna skulle visa sin korrekta temperatur. Lösningen var därför att göra en for loop, som kördes 10 gånger, där varje loop hade en delay på 1 sekund, och i varje loop hämtades ny sensordata. Tiden som pumpen var igång och avstängd sattes till godtyckliga värden för att kunna göra en simluering. I praktiken bör dessa värden justeras beroende på hur systemet utformas. Exempelvis m.a.p. mängden vatten som ryms i absorbatorn, solens instrålningseffekt, tankens storlek etc. Koden är bifogad i bilaga D.

5.3.3 Varvtalsreglerat system

De simulerade testerna som tidigare beskrivits använde sig av on/off reglering. Ett alternativ till detta är att använda sig av varvtalsreglering, där flödeshastigheten i systemet varieras. För att uppnå en varvtalsreglering för pumpen användes pulse width modulation (PWM). Syftet med varvtalsreglering är att pumpen ska pumpa långsamt om temperaturdifferensen är liten och snabbt när temperaturdifferensen är stor. Då ingen teori för varvtalsreglering av pumpar för solvärmesystem hittades är följande lösning mer ett koncept på hur varvtalsreglering skulle kunna fungera. Koden finns i Bilaga E

Pumpens startvillkor sattes till samma temperatur som innan. Sensor 1 ska vara 5°C varmare än sensor 0. Istället för att pumpen då går på maxeffekt räknas först variabeln temp_diff ut. Med hjälp av denna variabel räknas sedan variabeln "power" ut, som en faktor mellan "temp_diff" och 15°C. Just 15°C är godtyckligt vald baserat på vilka temperaturdifferenser som systemet kommer hantera.

Variabeln "power" sätts sedan in i en for loop, där variabeln styr hur stor del av tiden motorn ska vara avstängd respektive på. Antalet loopar som for-loopen är programmerad att köra är också godtyckligt vald. Den är i koden satt till 50, vilket tar ca 5 sekunder. Det innebär att var 5:e sekund kommer arduinon skicka data till pumpen om vilken hastighet den ska ha. Vid 5°C går motorn på 33% effekt och vid 15°C går den på 100%. Motorn stängs sedan helt av när temperaturdifferensen mellan sensor 0 och 1 når 2°C.

För att lösa ett problem med tiden det tog för sensorerna att hämta sin data ändrades med vilken noggrannhet som sensorerna mätte temperaturen. Standard är att sensorerna sparar datan i 12 bits och den sattes istället till 9 bits. Detta gjordes genom att i "void setup()" skriva "sensors.setResolution(9)". Det tog ner tiden att hämta sensordatan till under 0.1s. I den kod som skrivits nu valdes att köra pumpen på maxeffekt under tiden som sensordata hämtas, istället för att stänga av den.

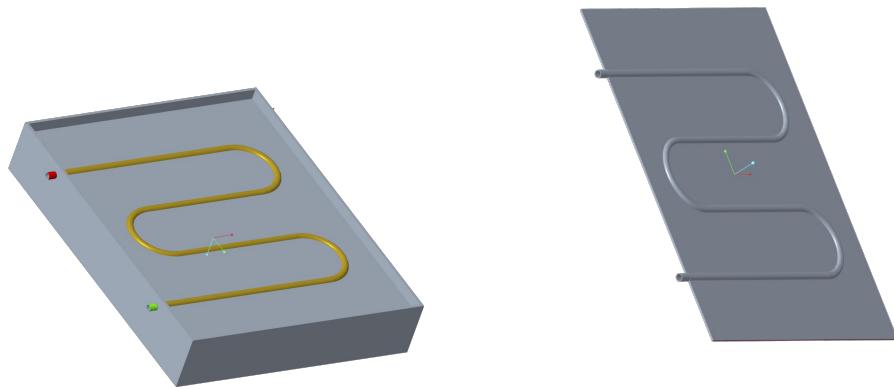
5.3.4 Pumpkurva

Det finns oftast en pumpkurva framtagen av pumptillverkaren, men för pumpen som köptes in kunde ingen pumpkurva hittas. Ett test utfördes därför där pumpkurvan togs fram. Testet gick till genom att pumpen kopplades till en 2 meter lång slang. Volymflödet mättes sedan vid olika höjder för utflödet till slangen relativt pumpen. Tre stycken mätpunkter togs, vid 0, 1 och 2 meter. Testet utfördes för både en effekt på 6W och en på 4W för pumpen.

6 Resultat

6.1 Maskinkonstruktion och layout

6.1.1 Solfångare och absorbator



Figur 16: Solfångaren samt den innehållande absorbatorplattan.

Konceptet för absorbatorn och solfångarlådan blev liknande som för Figur 5 med tre stycken rörsvängar samt att in- och utlopp placeras på samma sida. Se figur 16. Materialvalet till solfångaren hanteras av grupp 1. Dimensioner på solfångarlådan: 560x460x100mm (LxBxH)

6.1.2 Bottenplatta



Figur 17: Två olika vinklar av bottenplattan.

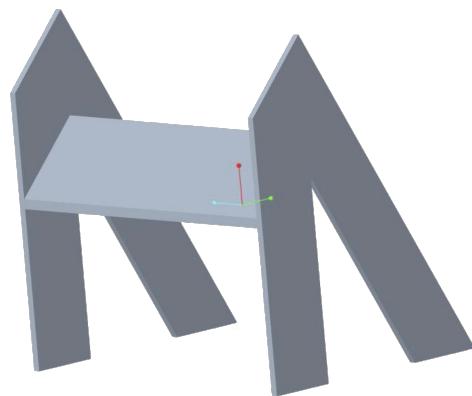
Slutresultatet för bottenplattan syns i figur 17 med infrästa handtag på undersidan. Samtliga kanter, förutom de på undersidan, har även rundats av något. De bästa materialkandidaterna från CES sammanställdes till tabell 7.

Tabell 7: Lista över fördelar och nackdelar för materialkandidater

| Materialkandidater | | |
|--------------------|--|--|
| Material | Fördelar | Nackdelar |
| Plywood | Lågt pris, Lättarbetat, Lätttillgängligt | Kräver ytbehandling |
| MDF | Lågt pris, mycket lättarbetat, lätttillgängligt | kräver ytbehandling |
| Ek | Hållfast | Dyrkt, tungt, svårarbetat, kräver ytbehandling |
| Furu | Lätttillgängligt, lågt pris | kräver ytbehandling |

Utifrån dessa kandidater valdes MDF främst för att det är ett mycket lättarbetat material med god hållfasthet, se bilaga F för materialkandidater i CES. Med lackering uppnås även gott skydd mot vatten. Dimensioner: 1150x460x50mm (LxBxH)

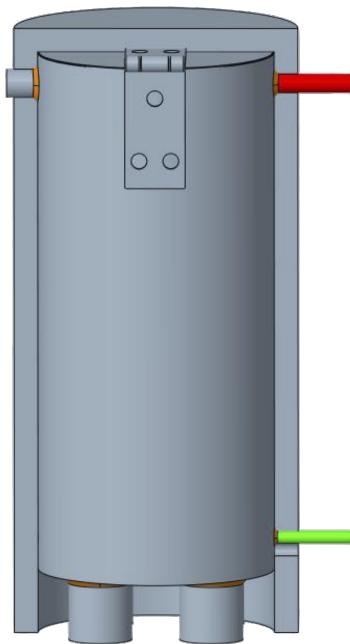
6.1.3 Solfångarställning



Figur 18: Solfångarställningen.

Solfångarställningens slutgiltiga CAD-modell, se figur 18, återspeglar skissen i figur 7. Den kommer med fyra stycken stödben och en tvärgående list som solfångaren skall ligga an emot. Lämpligt konstruktionsmaterial är detsamma som bottenplattan, MDF med lackering som skydd mot vatten.

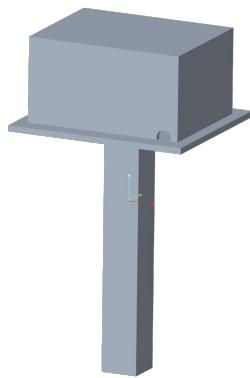
6.1.4 Ackumulatortank



Figur 19: Ackumulatortank. Halva isoleringen är borttagen på bilden för att visa hur tanken ser ut. Från det gröna röret kommer vatten pumpas in till absorbatorn och till det röda kommer vatten från absorbatorn.

I Figur 8 återfinns skisskoncept för ackumulatortanken med figur 19 som den slutliga CAD-modellen. Ackumulatortanken kommer med fyra cylinderformade ben och ett lock fäst med ett gångjärn, samt en 1 cm tjock isolering. Materialvalet till tanken hanteras av grupp 2. Volym: 5 liter.

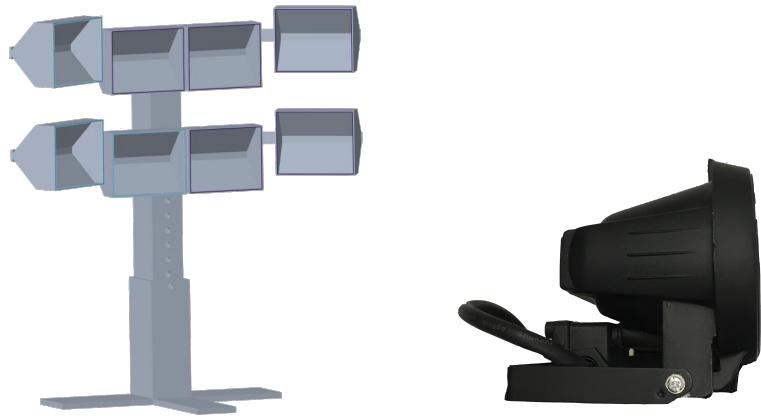
6.1.5 Datorbox med ställning



Figur 20: *Datorbox med tillhörande ställning.*

Cad-modellen för datorboxen kommer slutligen med ett utgående hål för kablar samt en upphöjande ställning. Kabeln till pumpen kopplas till ett grenuttag som är fäst i ställningen med buntband. Även USB-kabeln som driver Arduinon är fäst i buntband på ställningen. Materialvalet till datorboxen och dess tillhörande ställning är precis som för bottenplattan MDF. Ställningen som datorboxen står på är 150mm hög. Dimensioner datorbox: 130x100x70mm (LxBxH).

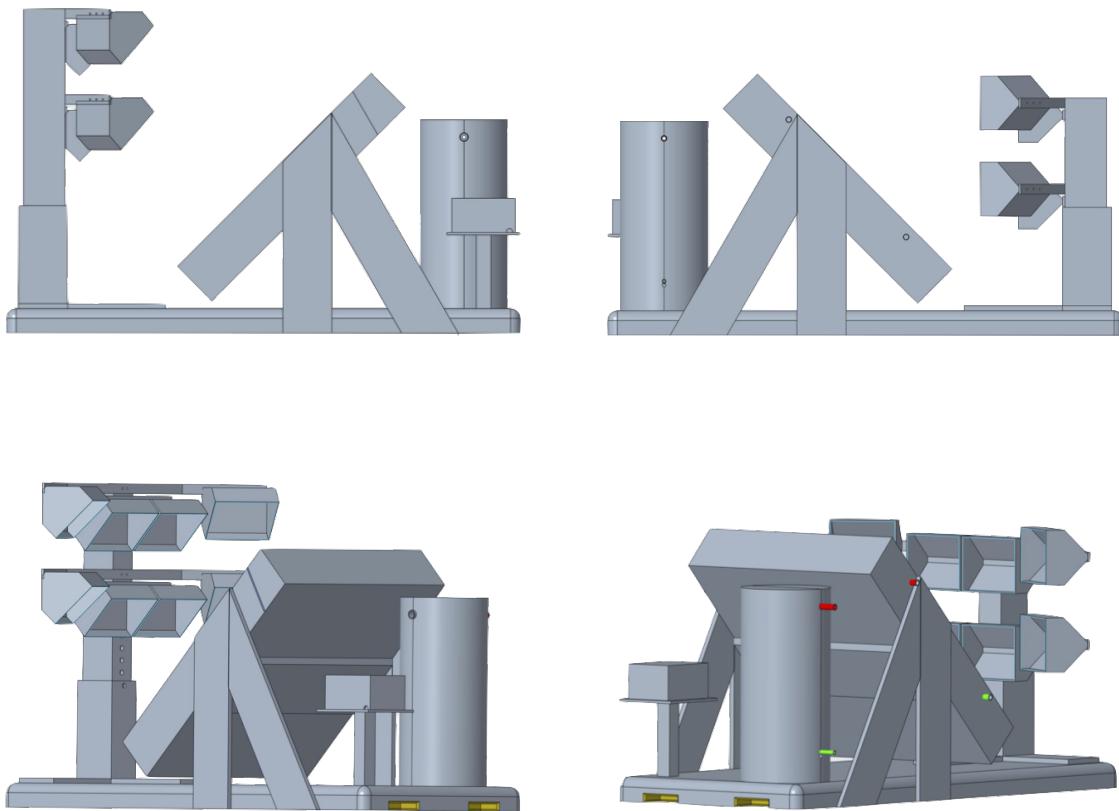
6.1.6 Solställning



Figur 21: Färdig solställning till vänster. Höjd: 420mm i sitt nedersta läge samt 620mm i sitt översta läge. Solställningen är 645mm bred. Till höger syns en strålkastare med justerbar vinkel.

Solställningen i figur 21 består i huvudsak av två ihåliga rätblock, en stabilisering fot, åtta stycken 120W lampor som monteras på fyra infästningar varav två är vinklade 26° inåt för att säkerställa god instrålning mot solfångaren. Som material föreslås rostfritt stål för alla komponenter förutom för fötterna, som föreslås vara i MDF. Det kommer även monteras två grenuttag på varsin sida av det nedre rätblocket vilket kan liknas med de på figur 4. Rostfritt stål rekommenderas eftersom det finns god tillgång på detta i verkstaden samt finns i mer lättarbetade och svetsbara variationer och erbjuder god korrosionsbeständighet. Se bilaga G för resonemang kring materialval.

6.1.7 Färdigt designkoncept



Figur 22: Fyra olika infallsvinklar av det färdigställda designkonceptet. De två bilderna till vänster visar systemet med 45° vinkel på solen och de två till höger med 0° vinkel.

Den kompletta slutdesignen i figur 22 blev en variant av de två skisserna i Figur 10, med komponenterna monterade så kompakt och överlappande som möjligt utifrån de avståndskrav som satts på komponenterna.

Slangarna som leder vatten mellan ackumulatortanken och solfångaren valdes av grupp 2 till PVC rör. Dessa är väldigt rörliga och behöver därmed inte ha en bestämd utformning. Ackumulatortanken har utsvetsade rör som slangarna kopplas till med hjälp av metallklämmor. Samma klämmor används även för att koppla slangarna till pumpen. De totala dimensionerna är 1150x645x485mm (LxBxH).

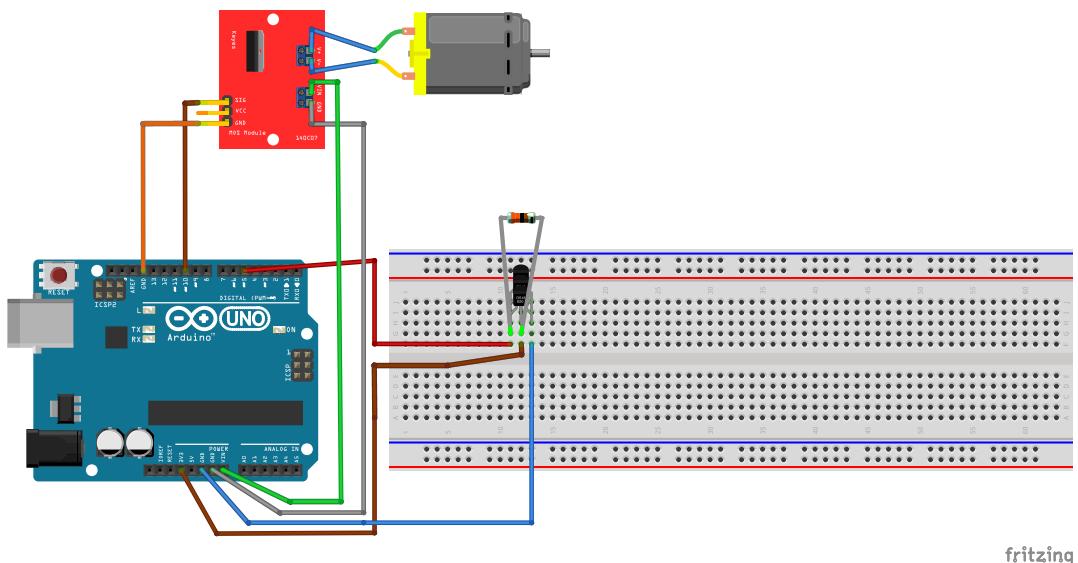
6.2 Pumpreglering

För pumpregleringen valdes följande komponenter:

- Pump: Vätskepump VMA421
- Mikrokontrollerkort: Arduino UNO (MEGA328) rev 3
- Sensorer: 3x Temperatursensor (DS18B20)

Se Bilaga A för länk till alla inköpta artiklar.

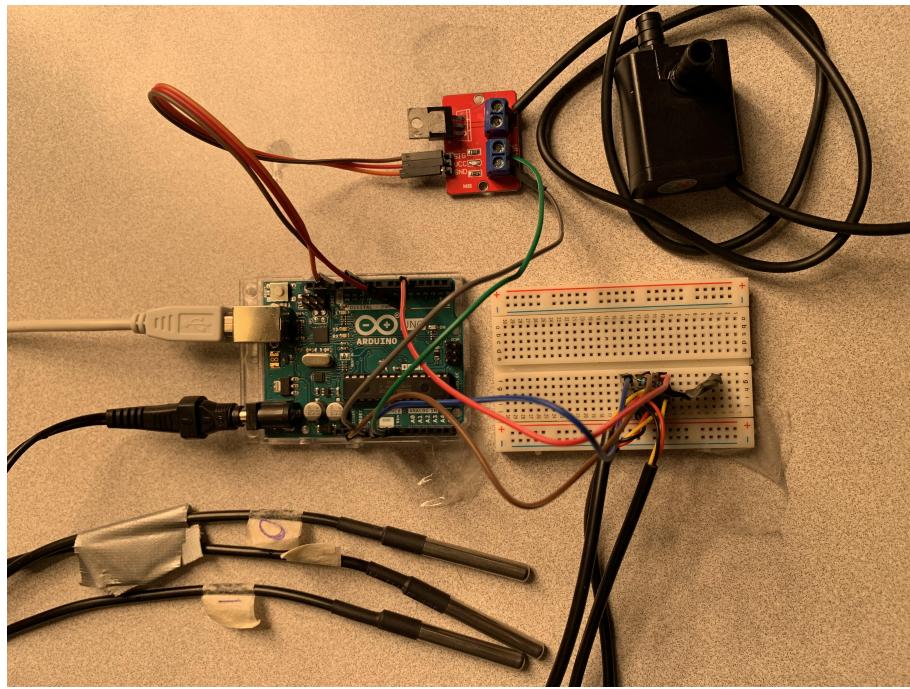
Dessa komponenter sattes ihop till ett komplett system se figur 23.



Figur 23: Grafisk representation av kopplingarna mellan Arduino, sensorer och pump.

Den grå och gula DC-motorn representerar vätskepumpen, till vänster om den är en mosfet-modul. I hålen på plats h-j/11-13 på kopplingsplattan sitter de tre temperatursensorerna. På plats g/11-12 sitter en resistor på $2.2\text{k}\Omega$.

Figur 24 visar hur systemet såg ut i verkligheten.

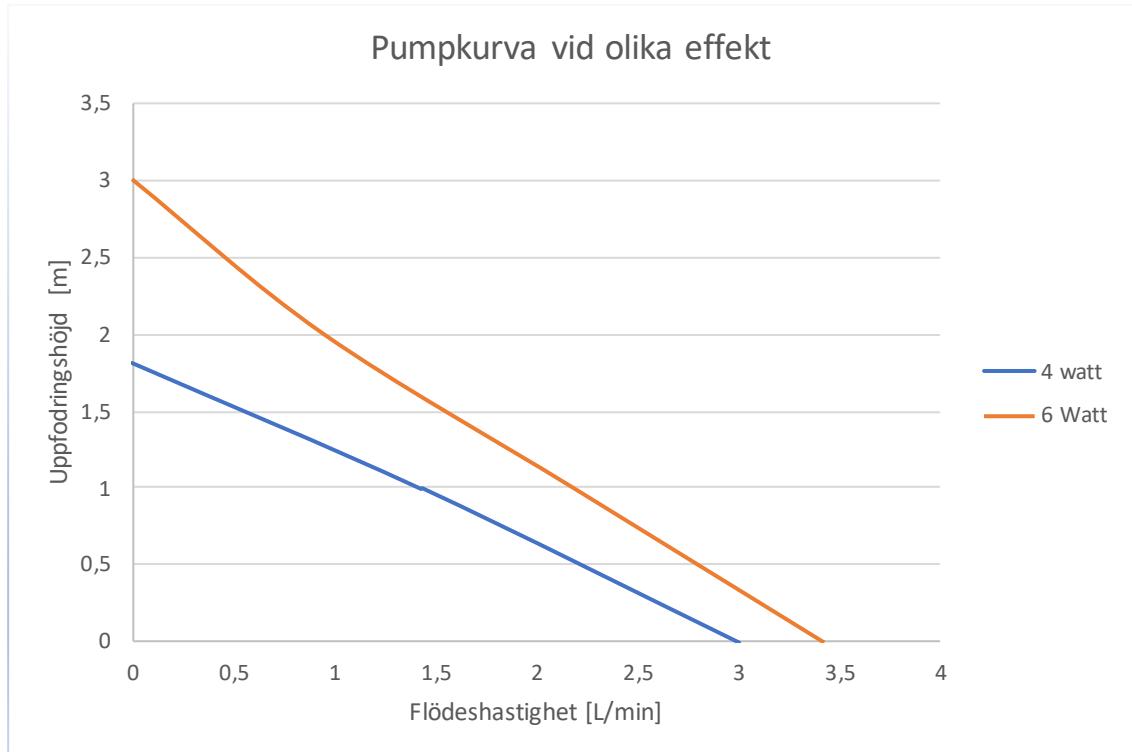


Figur 24: Uppställning för pumpstyrningen med kopplingar mellan Arduino, mosfet, pump och sensorer.

Som monteringsmetod för temperatursensorn i solfångaren rekommenderas det att den fästs på utsidan av absorbatorrören med hjälp av värmelödningspasta.

6.2.1 Pumpkurva

Figur 25 visar på hur pumpens uppfördringshöjd varierar med olika volymflöden.

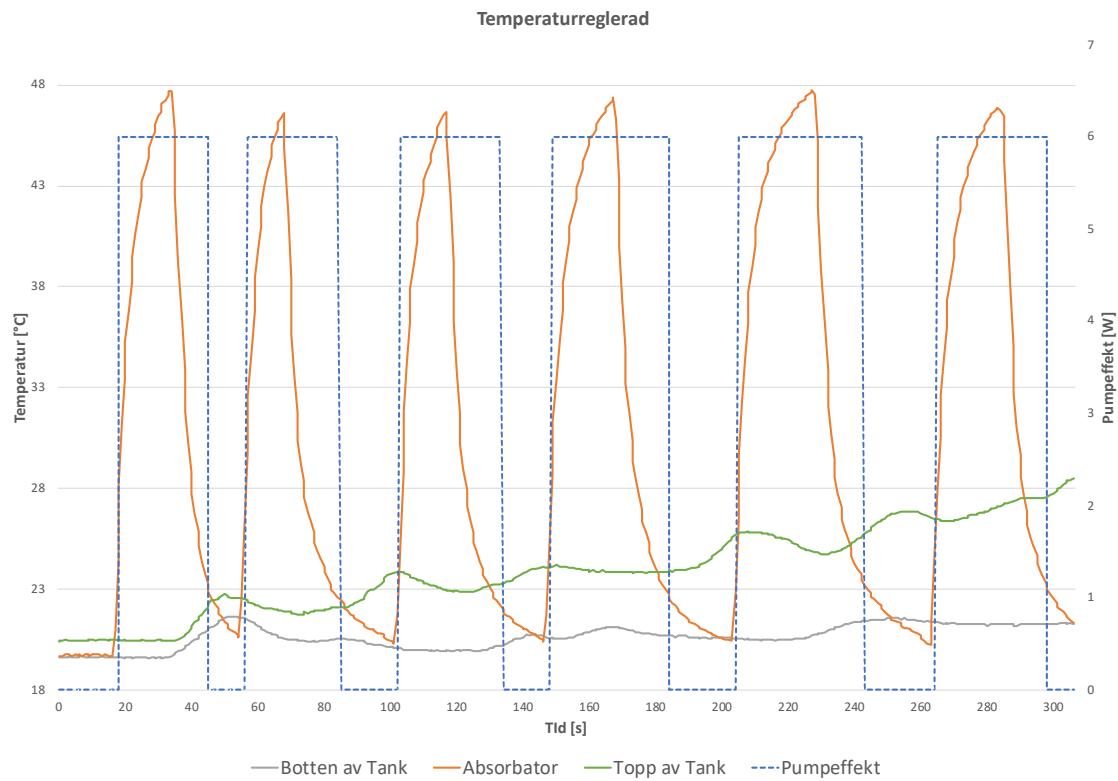


Figur 25: Flödeshastighet vid olika uppfordringshöjder vid 4W respektive 6W.

Grafen togs fram genom tester där volymflödet vid olika höjder relativt till pumpen utfördes.

6.3 Pumpsimulering

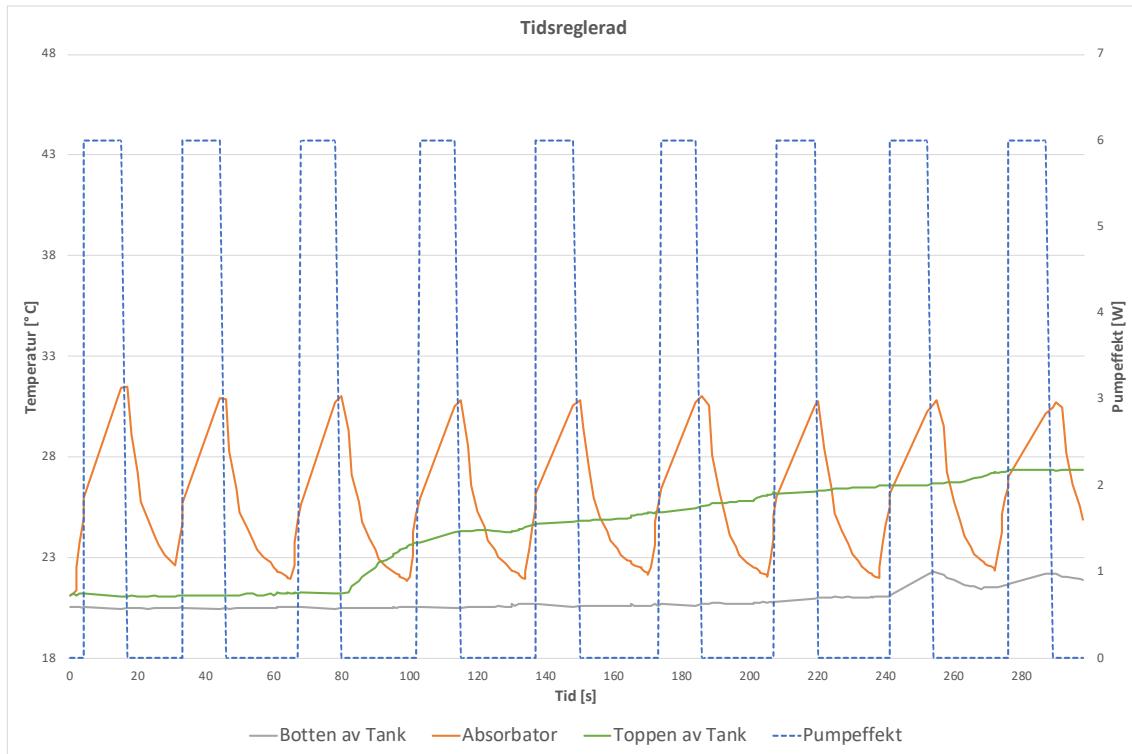
Båda graferna nedan är skapade i Excel genom att kopiera sensordatan från Arduinos programvara till Excel. De två graferna nedan är resultatet av de två pumpsimuleringarna där den ena reglerades med avseende på temperatur och den andra med avseende på tid.



Figur 26: Pumpsimulering med temperaturreglering.

Som figur 26 visar startar pumpen då temperaturen i absorbatorn stiger till 5°C varmare än i botten av tanken. Den är sedan igång tills att temperaturen sjunkit till 2°C varmare. Pumpen är igång i ca 30 sekunder, med en effekt på 6W. Med tiden stiger temperaturen i övre delen av tanken, medan temperaturen i botten av tanken förblir ungefär samma under hela simuleringen. Detta tyder på att god skiktbildning har uppnåtts.

Figur 27 visar på resultatet av den tidsreglerade simuleringen.



Figur 27: Pumpsimulering med tidsreglering.

Även här har pumpen startats då temperaturen i absorbatorn stigit till 5°C varmare än i botten av tanken. Pumpen är istället programmerad att vara igång i 10 sekunder. Även i denna simulering uppnås god skiktbildning.

7 Diskussion

7.1 Maskinkonstruktion och koncept

7.1.1 Driftsäkerhet och förflyttande av systemet

I och med att systemet kommer fyllas på och tömmas på vatten ökar risken för vattenspill på de olika elektriska komponenterna i systemet. Utifrån detta skapades en frågeställning om hur systemet konstrueras för att vara driftsäkert. Därmed utformades konceptet för datorboxen på så sätt att Arduino-boarden och dess tillhörande komponenter skulle rymmas i boxen. Den skulle även helt omsluta de elektroniska komponenterna för att undvika att vatten når dessa och kortsluter systemet. Att placera datorboxen på en upphöjd ställning valdes även för att minska risken för kontakt med vatten.

För att driftsäkra elektroniken till lamporna monteras grenuttagen som lamporna är kopplade till på själva solställningen. Detta gör att uttagen höjs upp något ifrån bottenplattan, vilket i sin tur gör att spilt vatten på bottenplattan inte kan rinna in i grenuttagen och kortsluta dessa.

Ytterligare en frågeställning var att solvärmesystemet skulle vara enkelt att transportera och förvara. Ur denna frågeställning designades komponenterna så att det skulle vara enkelt för två personer att bära systemet. Handtag på bottenplattan samt möjlighet att ställa av solställningen valdes även för att underlätta transport och förvaring. Systemet anses möjligt att förflytta då dess vikt anses vara tillräckligt låg för att två personer skall kunna bära det, samt att dess totala bredd anses användarvänligt ur en förflyttande synpunkt, tex kan systemet bäras igenom en dörrkarm med denna bredd. Vad gäller höjden på systemet som från konstruktionskriterielistan i tabell 1 var 1m, varav resultatet visar på en betydligt lägre lägsta höjd, denna höjd anses också göra det möjlig att bära igenom systemet genom exempelvis en dörr.

I och med att utloppet från tanken till solfångaren befinner sig i den nedre delen av tanken medför detta att utloppet kommer att utsättas för ett relativt högt tryck. Vilket i sin tur ökar risken för läckage i denna del, denna del har grupp 2 behandlat i sin rapport. Deras slutsats var att svetsa ett utstickande rör utifrån tanken vid utloppet som är ungefär 1 dm, för att sedan trä över slangens över röret och nypa fast den med metallklämmor. Denna lösning ansågs vara tillräckligt för att undvika läckage i denna del av systemet. Systemet är smalt nog att kunna bäras genom en dörröppning.

7.1.2 Livslängd

Materialval för komponenter och placering av dessa har gjorts för att försöka hålla god livslängd på systemet. Bland annat valdes MDF som material, istället för rostfritt stål, till fötterna hos solställningen. Detta för att minska risken för korrosion, då risken för att vatten på bottenplattan skulle komma i kontakt med fötterna ansågs vara hög. Ytterligare en åtgärd för att öka livslängden hos systemet var att bottenplattan, datorboxen, solfångarställningen och fötterna till solställningen, som alla är i materialet MDF, ytbehandlas för att minska risken för att vatten skulle förstöra materialet.

Vid konceptgenereringen av bottenplattan ansågs det även öka livslängden att ha infrästa handtag istället för att ha handtag som skulle monteras på kanten av bottenplattan. Detta eftersom kanten på bottenplattan är förhållandevis tunn och att en hävstångseffekt från ett utväntigt handtag eventuellt då skulle öka risken för att infästningarna till handtagen slits ut och brister.

7.1.3 Placering av de olika systemkomponenterna

Utifrån kraven från de två mek/värmegrupperna var målet med designkonceptet att resterande delar skulle placeras på plattan så tätt som möjligt och att solfångaren skulle placeras så lågt som möjligt. Detta för att höjden och arean på hela systemet skulle minimeras. I och med solfångarens 45 gradiga lutning kunde ackumulatortanken och datorboxen placeras ”under” solfångaren. Detta

minimerade den totala ytan för bottenplattan. Solställningen placerades så att avståndet från solen till solfångaren motsvarade de krav som ställdts. Den totala ytan för bottenplattan slutade på $0,529\text{m}^2$, vilket var betydligt lägre än kravet på 1m^2 .

7.1.4 Koncept bottenplatta

Plattan kommer i ett enkelt utförande formad som ett rätblock med infrästa handtag på kortsidorna. Denna lösning valdes eftersom systemet uppskattas ha en kring 10kg med tom ackumulatortank och detta är en tillräckligt låg vikt för att systemet ska kunna bäras. Med denna lösning kan systemet även ställas på exempelvis en rullvagn för att enkelt transportereras.

7.1.5 Koncept solställning

En av frågeställningarna var hur infallsvinkeln mellan sol och solfångare kan justeras. Det slutgiltiga valet var att solställningen justeras för att få önskad infallsvinkel mellan sol och solfångare. Detta görs genom att manuellt kunna anpassa solställningen i höjdled samt justera de individuella lamporna i vinkelled. Valet att ha varannan rad med lampor längre ut på sidorna och vinkla de 26° valdes för att minska risken för överhettning av lamporna, då lamporna överlappar mindre. Ett problem som uppstår med denna konstruktion är att de nedre lamporna på solställningen kommer närmare solfångaren än de övre på grund av lutningen på solfångaren. Detta skulle kunna leda till en ojämnn instrålning över solfångarens yta. För att minska risken för detta placerades alla lampor så tätt som bedömdes vara möjligt utan risk för överlapp.

7.1.6 Systematiskt materialval

Till följd av systemets enkla utförande samt att de externa lasterna är låga så valdes att göra ett begränsat arbete kring materialvalet i syfte att inte överarbeta ett tillsyns enkelt problem. Det finns med säkerhet andra materialval som skulle fungerat minst lika bra. En av de främsta egenskaperna varpå materialen slutligen valdes var dess tillgänglighet samt hur pass lättarbetade materialen var.

7.2 Pumpreglering

Syftet för solvärmesystemet som helhet är att det ska användas i laborationer på LiU. En av frågeställningarna var mer specifikt hur man i en laboration kan reglera pumpen för olika syften. Detta lösades genom att koder i Arduino skrivits för temperaturreglerat, tidsreglerat respektive varvtalsreglerat pumpsystem. Enligt Svensk Solenergi ger ett varvtalsreglerat system en större mängd vatten snabbt, men som inte blir lika varmt som ett on/off reglerat system. Denna teori skulle en laboration, med det system som tagits fram, kunna testa. Det är även enkelt att gå in i koden och ändra olika parametrar, såsom vid vilka temperaturer pumpen ska starta, för att optimera systemet i en laboration.

Det är svårt att jämföra den tids- och temperaturreglerade simuleringen och dra några slutsatser från graferna i resultatet. Resonemanget bakom den tidsreglerade simuleringen var att den skulle pumpa exakt den mängd vatten som absorbatorn rymmer. Eftersom att absorbatorn simulerades av en hink fylld med vatten går det inte att jämföra hur väl just detta presterade jämfört med den temperaturreglerade. Ytterligare ett problem med simuleringen var att absorbatorn inte värmdes upp, utan att sensorn flyttades mellan två olika hinkar som hade olika temperatur. Detta medförde att temperaturförändringarna blev betydligt snabbare än hur det hade sett ut i det verkliga systemet. I ett verkligt system borde dock fördelen med ett tidsreglerat system vara att inget kallt vatten från botten av tanken pumpas in i den övre delen av tanken och förstör skiktningen.

7.2.1 Kablar

Vid inköp av kablar till Arduinon köptes endast hane-hona kablar. Det visade sig vid uppställningen av kopplingarna att de flesta kopplingar krävde hane-hane. Lösningen på detta problem var att göra om hane-hona kablar för hand. Detta innebär att vissa kablar tenderar att glappa och ibland tappa kopplingen. Till nästa år kan det vara bra att byta ut alla kablar till hane-hane och se till att alla kopplingar är korrekta.

7.2.2 Resistor till temperatursensorer

Ett problem med att sensorerna visade -127°C löstes genom att byta ut resistorn som temperatursensorerna var kopplade till. Från början användes ett motstånd på $4.7\text{k}\Omega$ och det byttes till ett $2.2\text{k}\Omega$. Anledningen till att sensorerna visade fel temperatur berodde då förmodligen på att den resistor som satt i kretsen inte släppte igenom den ström som krävdes för att sensorerna skulle kunna visa ett korrekt värde vid högre temperaturer.

7.2.3 Montering av temperatursensorer

Som monteringsmetod av temperatursensorerna rekommenderades värmeleddningspasta. Detta valdes främst då väldigt tunna rör i absorbatorn ska användas, på endast 8mm i diameter. Metoden är även enklare att montera. Ifall tid och pengar finns nästa år kan det dock vara ett alternativ att se över dykrör som lösning.

8 Slutsats

Det slutgiltiga underlaget till nästa års kandidatgrupp innehåller CAD-modeller för alla maskinkonstruktionskomponenter samt ett fungerande reglersystem. Reglersystemet består av en Arduino som har tre stycken DS18B20-temperatursensorer kopplat till sig. Två av dessa sensorer placeras i ackumulatortanken, en i den övre delen av tanken och den andra i den nedre delen. Den tredje sensorn placeras vid slutet av absorbatorn på utsidan av röret mha värmeleddningspasta. Temperaturdifferensen mellan sensorn i absorbatorn och den i nedre delen av tanken styr en vätskepump som driver vattnet i systemet. Denna pump kan antingen styras genom on/off reglering eller med varvtalsreglering. Vilken styrmetod som ska användas bör utvärderas av nästa års grupp.

De komponenter som underlag tagits fram för är solfångare, solfångarställning, datorbox, bottenplatta och solställning. Underlaget innehåller CAD-modell, monterings- och materialförslag. Allt underlag togs fram genom att storlek på tank först sattes till 5 liter. Därefter anpassades bottenplatta, solfångarställning och solställning utefter storleken på absorbatorn från mek/värme-grupperna. Till justeringen av infallsvinkel mellan sol och solfångare valdes en lösning där solen är den som justeras. Detta görs genom att lamporna på solställningen justeras i vinkel samt att höjden på solställningen ändras för att uppnå önskad instrålad effekt.

I en laboration kan systemet mäta temperaturökningen på vattnet i ackumulatortanken, samt se på skikningen mellan kallt och varmt vatten i den övre och undre delen av tanken. Denna data fås i Arduinos programvara och kan därifrån exporteras till Excel. Genom att ändra vilken kod som körs i Arduinos programvara kan även on/off-reglering jämföras med varvtalsreglering. Med hjälp av bottenplattans handtag och systemets lätta vikt kan det enkelt förflyttas.

Nästa års grupp rekommenderas att titta vidare på hur solstyrkan kan regleras, förslagsvis med hjälp av en dimmer och en timer. Kablarna till Arduinon tenderar

även att glappa och ifall problemet kvarstår nästa år bör dessa bytas ut.

Referenser

- [1] Pål Sjöberg. *Utvärdering av solvärmebidraget och solvärmestödet*. Boverket, 2012.
- [2] Helena Holm. *Solvärme*. Energimyndigheten, 2015.
- [3] Svante Boo. ”Solvärme för flerbostadshus i Lund och Dalby”. I: *TVIT-5006* (2005).
- [4] M Rönnelid m.fl. ”Sol till både vatten och värme, Enkla åtgärder kan öka solvärmeutbytet. 2004”. I: *Formas/SERC, Högskolan Dalarna: Sweden* ().
- [5] ”Hur fungerar ett solvärmesystem?” I: *Solar Region Skåne* ().
- [6] Svensk Solenergi. *Solvärmesystem för småhus, Kursmaterial för installatörer*. Svensk Solenergi, 2010.
- [7] Ulf Liedholm. *Procedur om stödjer konceptframtagningen. Arbetssättet är baserat på teorier och procedurer från huvudsakligen Vladimir Hubka och Mogens Myrup Andreasen*. Institutionen för Konstruktions- och Produktionsteknik Linköpings universitet, 1999.
- [8] Michael F. Ashby. *Materials Selection in Mechanical design, Fourth Edition*. Elsevier Ltd, 2011.
- [9] Hanna Klasson Lisa Knopp Tina Mannegren Andreas Rilegård Johan Sjödin. *Design och konstruktion av ett småskaligt solvärmesystem*. Institutionen för Ekonomisk och Industriell Utveckling Linköpings Universitet, Sverige, 2014.
- [10] Tomas Persson. *Kombinerade bio- och solvärmesystem. Handbok för systemutformning*. SERC Högskolan Dalarna Borlänge, 2010.
- [11] Kjell Co. Vätskepump 240L/h. URL:
<https://www.kjell.se/produkter/el-verktyg/arduino/tillbehor/vatskepump-240-lh-p87079>. (Hämtad: 28.04.2020).

- [12] XTRONICAL. *Temperature sensing (Dallas DS18B20 et. al.)* URL: <https://www.xtronical.com/basics/environmental-sensors/temperature-sensor-dallas-ds18b20/>. (Hämtad: 22.04.2020).

Bilagor

A Inköpslista

| Produkt | Pris | Antal | Länk |
|-----------------------------|--------|-------|------------------|
| Vätskepump VMA421 | 299.90 | 1 | Länk |
| Vätskeslang | 99.90 | 1 | Länk |
| Arduino UNO (MEGA328) rev 3 | 249.00 | 1 | Länk |
| Kablar till Arduino | 99.90 | 1 | Länk |
| Resistorer | 119.90 | 1 | Länk |
| Temperatursensor DS18B20 | 99.00 | 3 | Länk |
| USB kabel | 39.00 | 1 | Länk |
| Mosfet | 29.00 | 1 | Länk |
| Breadboard | 89.90 | 1 | Länk |
| Strömkälla | - | 1 | Hittad i STRO |

B Setup kod

```
// Include the libraries we need
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Data wire is plugged into port 5 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 5

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices (not just
Maxim/Dallas temperature ICs)
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors(&oneWire);

int NumSensors=0;
/*
 * The setup function. We only start the sensors here
 */

#define control 10 // pin that controls the MOSFET

void setup() {
    // *****Pumpen*****
    pinMode(control,OUTPUT); // define control pin as output
    Serial.begin(9600);
    // start serial port
    Serial.println("Dallas Temperature IC Control Library Demo");

    // *****Temperatursensor*****
    sensors.begin();
    NumSensors=sensors.getDeviceCount();
    Serial.print(NumSensors);Serial.print(" sensor");
    if((NumSensors>1)&(NumSensors!=0))
        Serial.print("s");
    Serial.println(" available");

}
```

C Kod Simulering - Temperaturreglerad

```
//Main function, get and show the temperature and control the Pump/Mosfet
void loop(void)
{
    // call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
    // request to all devices on the bus
    Serial.print("Requesting temperatures...");  

    sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
    Serial.println("DONE");
    // After we got the temperatures, we can print them here.
    for(int i=0;i<NumSensors;i++)
    {
        Serial.print("Probe ");Serial.print(i);Serial.print(" : ");
        Serial.print(sensors.getTempCByIndex(i));
        if(i<NumSensors-1)
            Serial.print(",");
    }
    if(sensors.getTempCByIndex(0)>58)
    {
        digitalWrite(control,LOW); // Turn the MOSFET Switch OFF
    }
    else if(sensors.getTempCByIndex(1)-5>sensors.getTempCByIndex(0))
    {
        digitalWrite(control,HIGH); // turn the MOSFET Switch ON
    }
    else if(sensors.getTempCByIndex(1)-2<sensors.getTempCByIndex(0))
    {
        digitalWrite(control,LOW); // Turn the MOSFET Switch OFF
    }
    Serial.println();
}
```

D Kod Simulering - Tidsreglerad

```

void loop() {

    // *****Tempsensorer*****
    // request to all devices on the bus
    Serial.print("Requesting temperatures..."); 
    sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
    Serial.println("DONE");
    // After we got the temperatures, we can print them here.
    for(int i=0;i<NumSensors;i++)
    {
        Serial.print("Probe ");Serial.print(i);Serial.print(" : ");
        Serial.print(sensors.getTempCByIndex(i));
        if(i<NumSensors-1)
            Serial.print(",");
        Serial.println();
    }
    // *****Pump*****
    if (sensors.getTempCByIndex(1)-5 > sensors.getTempCByIndex(0))
    {
        digitalWrite(control,HIGH); // turn the MOSFET Switch ON
        delay(10000); // Wait for 2000 ms or 2 second
    } else if (sensors.getTempCByIndex(1)-2 < sensors.getTempCByIndex(0))
        digitalWrite(control,LOW); // Turn the MOSFET Switch OFF
    for(int j=0;j<10;j++){
        Serial.print("Requesting temperatures..."); 
        sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
        Serial.println("DONE");
        for(int i=0;i<NumSensors;i++) {
            Serial.print("Probe ");Serial.print(i);Serial.print(" : ");
            Serial.print(sensors.getTempCByIndex(i));
            if(i<NumSensors-1)
                Serial.print(",");
            delay(1000);
            Serial.println();
        }
    }
}

```

E Kod - Varvtalsreglerad

```

bool motor_on = false;

void loop() {
    // *****Tempsensorer*****
    // request to all devices on the bus
    Serial.print("Requesting temperatures..."); 
    sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
    Serial.println("DONE");
    // After we got the temperatures, we can print them here.
    for(int i=0;i<NumSensors;i++)
    {
        Serial.print("Probe ");Serial.print(i);Serial.print(" : ");
        Serial.print(sensors.getTempCByIndex(i));
        if(i<NumSensors-1)
            Serial.print(",");
    }

    // *****Pump*****
    float temp_diff = sensors.getTempCByIndex(1)-sensors.getTempCByIndex(0);
    float power = temp_diff/15;

    if (power>1){
        power=1;
    }
    else if(power<0){
        power=0;
    }

    if(sensors.getTempCByIndex(0)>58){
        digitalWrite(control,LOW); // Turn the MOSFET Switch OFF
    }
    else if(motor_on and temp_diff<2){
        digitalWrite(control,LOW); // Turn the MOSFET Switch OFF
        motor_on = false;
    }
    else if(temp_diff>5 or motor_on){
        for(int i=0;i<50;i++){
            digitalWrite(control,LOW); // Turn the MOSFET Switch OFF
            delay((1-power)*100);//
            digitalWrite(control,HIGH); // turn the MOSFET Switch ON
            delay(power*100);//
        }
        motor_on = true;
    }
    Serial.println();
}

```


F Materialva bottenplatta - CES

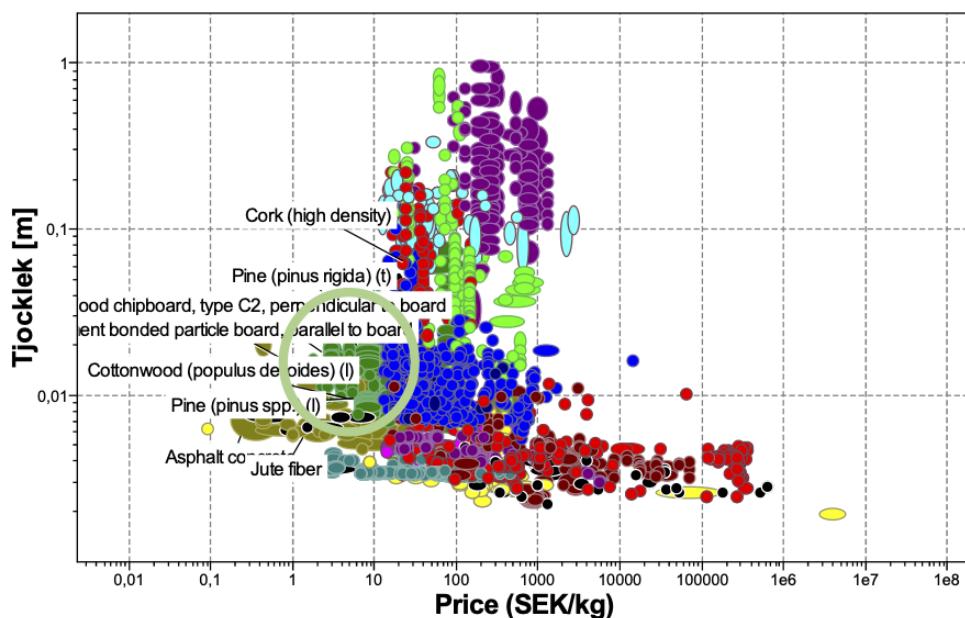
Bottenplatta

Följande ekvationer användes för att med hjälp av CES bestämma materialkandidater. Metoden är ett resultat av den översättning av materialvalsproblem som presenterats i rapporten.

$$\text{Elementarfall 6, nedböjning av fritt upplagd balk: } \delta(\alpha) = \frac{PL^3}{3EI} \alpha^2 \beta^2$$

$$\text{Yttröghetsmoment för en rektangulär balk: } I_y = \frac{1}{12} bh^3$$

Där $\delta(\alpha)$ är lika med den fritt upplagda balkens nedböjning vid delsträckan α av balkens hela längd. I_y anger kroppens tröghet och är geometriberoende. Måttet b och h är för oss givna, nedböjningen $\delta \leq 2\text{cm}$. Med följande värden på parametrarna: $P = 300\text{N}$, $L = 1\text{m}$, $\alpha = \beta = \frac{1}{2}$, $b = 0,46\text{m}$ och $\delta \leq 2\text{cm}$. Så blir den nödvändiga tjockleken $h(E) \approx \frac{8333,33}{E}$, där E varierar beroende på material. För att bestämma materialkandidater fördes detta samband in i CES vilket resulterade i följande graf.



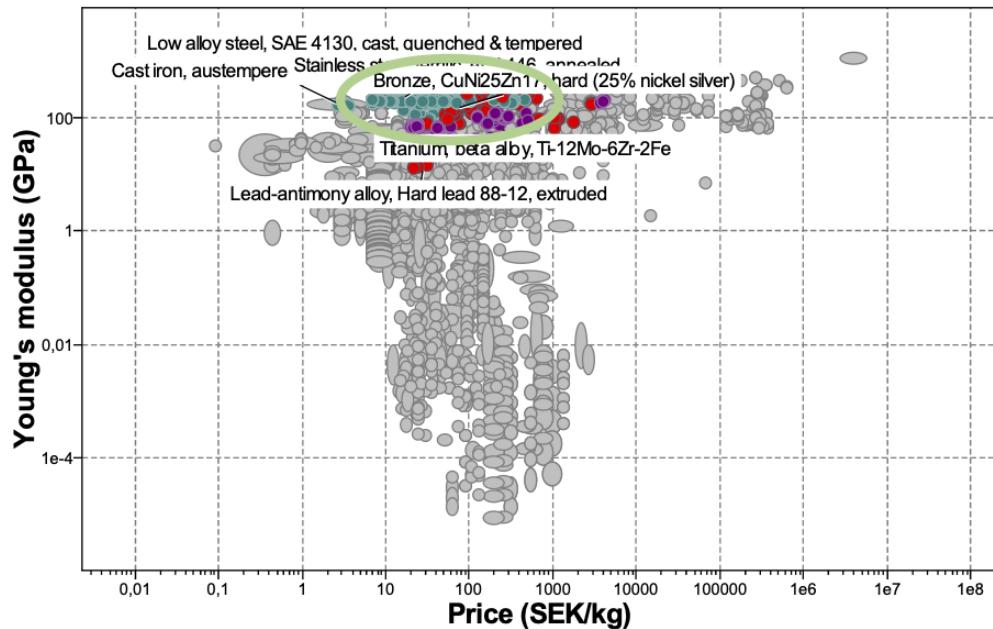
Det inringade området i grafen utgörs huvudsakligen av olika trämaterial (mörkgröna prickar). Trä erbjuder goda egenskaper, såsom en rimlig tjocklek på bottenplattan (0,01m-0,05m) samt ett rimligt pris. Från denna familj valdes ett antal kandidater ut: Plywood, MDF, Ek och Furu.

| Materialkandidater bottenplatta | | |
|--|--|---|
| Material | Fördelar | Nackdelar |
| Plywood | Lågt pris, lättarbetat, lättillgängligt | Kräver ytbehandling, sprickbenäget |
| MDF | Lågt pris, mycket lättarbetat, lättillgängligt | Kräver ytbehandling |
| Ek | Hållfast | Dyrt, tungt, svårarbetat, kräver ytbehandling |
| Furu | Lättillgängligt, lågt pris | Kräver ytbehandling. |

Utifrån dessa kandidater valdes MDF främst för att det är ett mycket lättarbetat material med god hållfasthet. Med lackering uppnås även gott skydd mot vatten.

G Materialval solställningen - CES

Solställningen



I grafen syns metaller inringade i den gröna cirkeln, hållfastheten är ungefär densamma över de olika materialen men priserna varierar kraftigt. Rostfritt stål föreslås som material för solfångaren eftersom det finns god tillgång på detta i verkstaden samt finns i mer lättarbetade och svetsbara variationer och erbjuder god korrosionsbeständighet.