CHALMERS

Luft som vattenkälla

Design och konstruktion av en prototyp som utvinner vatten ifrån luft.

Kandidatarbete för civilingenjörprogrammet

Patrik Eriksson, Ziad George, Simon Johansson, Valter Strömberg, Ludvig Söderbom & Josefine Åberg

Instutitionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020

Kandidatarbete 2020 : ENX15-20-10

Luft som vattenkälla

Design och konstruktion av en prototyp som utvinner vatten ifrån luft.

Patrik Eriksson, Ziad George, Simon Johansson, Valter Strömberg, Ludvig Söderbom & Josefine Åberg

Instutitionen för Elektroteknik
Avdelning för Elkraftteknik
Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg, Sverige 2020

Luft som vattenkälla
Design och konstruktion av en prototyp som utvinner vatten ifrån luft.
Patrik Eriksson, Ziad George, Simon Johansson, Valter Strömberg, Ludvig Söderbom & Josefine Åberg

© Patrik Eriksson, Ziad George, Simon Johansson, Valter Strömberg, Ludvig Söderbom & Josefine Åberg, 2020.

Handledare: Robert Karlsson, Avdelning för elkraftteknik
Examinator: Jimmy Ehnberg, Avdelning för elkraftteknik

Kandidatarbete 2020 : ENX15-20-10
Institutionen för Elektroteknik
Avdelning för Elkraftteknik
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Titelsida: Översiktsbild på prototypen.

Typeset in LaTeX
Göteborg, Sverige 2020

Luft som vattenkälla
Design och konstruktion av en prototyp som utvinner vatten ifrån luft.
Patrik Eriksson, Ziad George, Simon Johansson, Valter Strömberg, Ludvig Söderbom & Josefine Åberg
Instutitionen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Abstract

Self-sufficiency of water is an interesting topic to explore since it is vital and often supplied through large systems. To be able to produce water without any big systems is therefore an exciting task which can be very useful in areas where natural water sources are rare.

The aim of this report was to design and construct a prototype that could produce water by using condensation to convert the water vapour in air to liquid form. The prototype uses peltier elements to condense water and is driven by a solar panel and a wind turbine combined with a battery.

The prototype was designed and different components were carefully chosen. Investigation and calculations about weather conditions that affects the energy supply and the amount of water in the air was made to estimate the battery capacity and running rutines.

The result of the report was given from two different tests. In the first test the prototype was able to produce 4 cl of water in 8 hours and the power used was 76,9 W. During the test the weather conditions were unfavourable. During the second test they were much better, and the prototype was able to produce 6,6 cl of water in 4 hours and the power used was 36 W.

In summery the conceptual design was stated to be well functioning. Some improvements were suggested and together with better weather conditions the amount of water produced could probably be increased.

Keywords: Self-sufficiency of water, electric power, solar panel, wind turbine, peltier element, condensation

Luft som vattenkälla
Design och konstruktion av en prototyp som utvinner vatten ifrån luft.
Patrik Eriksson, Ziad George, Simon Johansson, Valter Strömberg, Ludvig Söderbom & Josefine Åberg
Instutitionen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Sammandrag

Självförsörning av vatten är ett mycket intressant ämne att undersöka då vatten är livsnödvändigt och tillförs ofta av stora system. Att mobilt kunna producera vatten utan hjälp av några stora system är därför en spännande uppgift som kan vara mycket användbar i områden där tillgång till naturliga vattenkällor är ovanligt.

Syftet med arbetet var att designa och konstruera en prototyp som kan producera vatten genom att kondensera vattenånga i luften till vatten i flytande form. Prototypen använder peltierelement för att kondensera vatten och drivs av en solpanel och vindturbin tillsammans med ett batteri.

En prototyp med den beskrivna funktionen designades och olika komponenter valdes ut noggrant. Undersökningar och beräkningar kring väder som påverkar energitillförseln samt vattenmängden i luften utfördes för att kunna uppskatta batterikapacitet och drifttider.

Resultat för vattenproduktionen dokumenterades i två olika tester. Under det första testet producerades 4 cl vatten under 8 timmar med en effekt på 76,9 W. Förutsättningarna för vattenproduktion var dock extremt dåliga under testets gång. Därefter gjordes ett nytt test som utfördes i bättre förhållanden. Då producerades istället 6,6 cl under 4 timmar med en effekt på 36 W.

Sammanfattningsvis konstaterades den konceptuella designen som mycket väl fungerande, men att det fanns en del förbättring som skulle kunna öka vattenproduktionen. Det konstaterades även att under bättre väderförhållanden skulle betydligt mer vatten kunna produceras.

Nyckelord: Självförsörning av vatten, elkraft, solpanel, vindturbin, peltierelement, kondensation.

Förord

Först skulle vi vilja tacka Robert Karlsson som varit vår handledare och uppdragsgivare. Under arbetet har han gett oss vägledning, kommit på nya idéer och inspirerat oss för att ta prototypen till nästa nivå. Vi vill även tacka Rikard Karlsson på CASE-labbet samt Douglas Jutsell Nilsson som hjälpt oss med de praktiska detaljerna.

Kandidatarbetet genomfördes under Covid-19 krisen år 2020 och utfördes därför under en osäker tid i världen. Det orsakade projektet att bli försenat och olika planer fick ändras eller ställas in, på grund av åtgärder för Covid-19 nådde därför inte prototypens sin fulla potential. En del leveranser blev sena och restriktioner i labmiljö gjorde att begränsat antal personer kunde arbeta praktiskt med prototypen. Därav fanns inte tid att hinna implementera alla optimeringsmöjligheter som var planerade från början. En del av dem finns dock beskrivna i rapporten då några av dem kunde planeras teoretiskt.

Patrik Eriksson, Ziad George, Simon Johansson, Valter Strömberg, Ludvig Söderbom & Josefine Åberg, Göteborg, Maj 2020

Innehåll

Figurer **xiii**

Tabeller **xv**

1 Inledning **1**
1.1 Introduktion 1
1.2 Syfte 2
1.3 Frågeställningar 2
1.4 Avgränsningar och förutsättningar 2

2 Teori **5**
2.1 Peltiereffekten 5
2.1.1 Peltierelement 5
2.1.2 Kylning av peltierelement med kylflänsar 5
2.2 Kylpasta 6
2.3 Vattenbehov 7
2.4 Väder 7
2.4.1 Kondensation och daggpunkt 8
2.4.2 Luftfuktighet 8
2.4.3 Strålningstyper 8
2.5 Strömgenerering 9
2.5.1 Horisontellaxlad vindturbin 9
2.5.2 Vertikalaxlad vindturbin 9
2.6 Filter 9
2.6.1 Luftfilter 10
2.6.2 Vattenfilter 10
2.7 Lagring 11
2.7.1 Lagring av vatten 11
2.7.2 Litiumjonbatteri 11
2.8 Vattenkvalitet 11

3 Metod **13**
3.1 Design av prototyp och val av *Nanuk*-väskans dimension 13
3.2 Styrning och reglering 15
3.3 Val av peltierelement 18
3.4 Val av vindturbin 18

3.5 Val av kylfläns på värmesidan av peltierelementen 19
3.6 Val av kylfläns på kylsidan av peltierelementen 19
3.7 Val av fläktar 20
3.7.1 Den lilla fläkten 20
3.7.2 Den stora fläkten 21
3.8 Val av kylpasta 21
3.9 Val av material till kåpor 22
3.10 Väderanalys 22
3.11 Effektberäkningar 23
3.11.1 Effekt från vindturbin 23
3.11.2 Effekt från solpanel 24
3.11.3 Totala effekten 24
3.12 Val av batteri 25
3.13 Dagsrytm av prototyp 26
3.13.1 Drifttid 26
3.13.2 Batterikapacitet 26
3.14 Test av prototypens vattenproduktion 27

4 Resultat **29**
4.1 Väderförhållanden 29
4.2 Utvecklad effekt 32
4.3 Effektbehov, batterikapacitet och drifttid 34
4.4 Vattenproduktion 35

5 Diskussion **37**
5.1 Hantering av väderdata 37
5.2 Vattenproduktion 38
5.3 Prototypens design och funktion 39
5.4 Styrning och reglering 40
5.5 Automatisk styrning 42
5.6 Vattenkvalitet 42
5.7 Filter 44
5.8 Felkällor vid val av den lilla fläkt 44
5.9 Etik och samhällspåverkan 45

6 Slutsats **47**

Litteraturförteckning **49**

A Bilaga **I**

B Bilaga **III**

C Bilaga **V**

D Bilaga **VII**

Figurer

3.1 Bild på kylsidan av aluminiumplattan. 14
3.2 Bild på värmesidan av aluminiumplattan. 14
3.3 Bild på tvärsnittet av aluminiumplattan. 15
3.4 Kretsschema över all elektronik. De olika potentiometrarna styr fläkthastigheterna, DC/DC-omvandlarna förser peltierelementen med rätt spänning, urladdningsskyddet skyddar batterierna och symbolen energikällor består av en batteriladdare som kan kopplas till ett väguttag och de olika förnyelsebara energikällorna. 16
3.5 Bild på framsidan av kretskortet. 17
3.6 Bild på baksidan av kretskortet. 17
3.7 Bild på vald kylfläns för värmesidan. 19
3.8 Bild på vald kylfläns för kondenseringsidan. 20

4.1 Uppskattning av hur vindhastigheten varierar under ett dygn för olika månader. Uppskattningen är baserad på medelvärdet för enskild tidpunkt tillhörande de olika månaderna. Vindhastigheten kan ses vara högre under dagen än under natten. 29
4.2 Uppskattning över hur temperaturen varierar under ett dygn för olika månader. Uppskattningen är baserad på medelvärdet för enskild tidpunkt tillhörande de olika månaderna. Temperaturen varierar cykliskt och når sin topp under eftermiddagen. 30
4.3 Uppskattning över hur den relativa luftfuktigheten varierar under ett dygn för olika månader. Uppskattningen är baserad på medelvärdet för enskild tidpunkt tillhörande de olika månaderna. En tydlig korrelation kan ses till temperaturens varierande. 30
4.4 Representation av medelvärdesbildning av beräknade data över absoluta luftfuktigheten sett till månad och tidpunkt. En slutsats som kan dras är att nivåerna är relativt konstanta. 31
4.5 Representation av medelvärdesbildning av beräknad data för daggpunkten sett till månad och tidpunkt. En slutsats som kan dras är att nivåerna är relativt konstanta. 31
4.6 Differensen ΔT mellan medelvärdet för temperatur och daggpunkt sett till månad och tidpunkt. Figuren beskriver den nödvändiga temperatursänkningen som luften måste genomgå för att kondens ska bildas. Minsta differensen kan tydligt ses vara under natt och morgon. 32

4.7 En uppskattning av hur effekten från solpanelen varierar. Uppskattningen är baserad på medelvärdet av flera års insolationsdata och slutsatsen är att effekten går cykliskt mellan årstiderna och är som högst mitt på dagen. 33
4.8 Uppskattad effekt ifrån vindturbinen som baseras på medelvärdet av effekten under de olika månaderna och under olika tider. Det konstiga utseendet beror på att datan interpolerats för att få ut fler datapunkter. Figuren överensstämmer med figuren för vindhastighetet 4.1 med högsta värde under eftermiddagen. 33
4.9 Total inkommande effekt från båda energikällorna sett till månad och tidpunkt. Solenergin är dominerande vilket tydligt ses om de enskilda effekterna jämförs. 34

5.1 Lösning för kontroll av prototypen. En brytare för att öppna reläet om batteriet laddats och en för att koppla från batteriet om det driver reläet. 42

A.1 Temperaturen på värmesidan, kylsidan och skillnaden i temperatur vid en lika stor spänning över elementen och den resulterande strömmen för varje. I
A.2 Uppmätt data för fläktarna. Resistansen är den inre resistanen i fläkten för given spänning och ström. Effekten är förlusterna i transistorn. I

C.1 Produktspecifikationen för den stora fläkten. V
C.2 Produktspecifikationen för den lilla fläkten. V
C.3 Produktspecifikationen för solpanelen. Modellen på solpanelen är JKM280PP-60 STC. VI

D.1 Ritning på kåpan som sitter på kylsidan av aluminiumplattan. VII
D.2 Ritning på kåpan som sitter på värmesidan av aluminiumplattan. . . VIII

Tabeller

2.1 Förenklad tabell över rekommenderad vattentillgång [12]. 7

3.1 Tabell som visar hur den importerade matrisen för vind- och temperatur kunde se ut innan manipulation [39][40]. 24
3.2 Tabell som visar hur den nya matrisen för vind- och temperatur såg ut efter manipulation [39][40]. De fetmarkerade värdena är uppskattade utifrån linjär approximation. 25

4.1 Tabellen visar mängden energi som vindturbinen och solpanelen kan omvandla under ett dygn för respektive månad, även benämnt som E_{dygn}. 34
4.2 Tabellen visar hur många timmar som prototypen kan drivas med den omvandlade energin för ett dygn i respektive månad. 35

B.1 Tabell över luftens sammansättning [43]. III
B.2 Tabell över atommassan för alla involverade atomer och molekylmassan för alla involverade molekyler [43]. IV

1

Inledning

1.1 Introduktion

Att undersöka hur självförsörjningsmöjligheterna ser ut för bostäder är en intressant uppgift då det potentiellt kan ge verkliga problem möjliga tekniska lösningar, exempelvis till de problem som tillkommer då hushåll skulle bli utan elektricitet eller andra funktioner som ges av stora system. En av de mest nödvändiga delarna av självförsörjning och vars tillgång ofta ges av stora system är vatten.

Självförsörjning av vatten kan ske genom att utvinna vatten ifrån luft, då luft består av en del vattenånga. Att utvinna vatten ifrån luften är möjligt genom kondensation. Fenomenet ses ofta då en sval dricka i ett glas står i rumstemperatur. Då vattenångan runt omkring glaset utsätts för kyla från drickan, omvandlas vattenångan till vatten som då kan ses på glaset. Samma princip är möjlig att använda i större skala för att utvinna vatten till ett hushåll.

Det som gör kondensation möjligt är att vattenångan blir utsatt för kyla [1]. Det är en uppgift som skulle kunna utföras av ett peltierelement. Peltierelement är en elektrisk modul som utnyttjar peltiereffekten, ett fysiskt fenomen som innebär att då en DC-spänning appliceras över halvledarkomponenter leds energi från en punkt till en annan [2]. På peltierelementet skapas då en varm respektive kall sida. Med en omgivande design som utnyttjar den kalla ytan och tillåter kondensen att ansamlas går det på så sätt att utvinna vatten.

För en prototyp som utvinner vatten i självförsörjningssyfte är det mer än lämpligt att även drivkraften för den ska vara helt oberoende av större system (som elnät). Genom att använda komponenter som kan skörda energi från förnyelsebara källor, såsom en solpanel och en vindturbin, kan beroendet elimineras. För att bygga upp ett pålitligt självförsörjande system som inte är direkt beroende av väder kan ovannämnda energikällor kombineras med batterier.

Oftast utreds självförsörning med privatbruk i åtanke, men behovet för en produkt som inte behöver något modernt vattensystem för att leverera vatten finns på många platser i världen, allt från flyktingläger till vandringsleder. Med en mer optimerad och utvecklad design med liknande princip som används i projektet skulle en sådan

produkt kunna utvecklas för massanvändning och på så sätt eliminera vattenbrist på utsatta platser.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet var att designa och konstruera en prototyp som kan utvinna vatten ifrån luft. Prototypen ska kunna drivas med en begränsad mängd förnyelsebar energi.

1.3 Frågeställningar

- Hur många volymenheter vatten kan utvinnas av prototypen per timme beroende på väder?
- Hur mycket energi krävs för att driva prototypen och hur anpassas driftrutinerna bäst för att tillgodomöta energibehovet?
- Hur skulle prototypen kunna vidareutvecklas för privatbruk samt för massanvändning?

1.4 Avgränsningar och förutsättningar

Det finns en del förutsättningar som projektets handledare har bestämt, även några avgränsningar som bestämts för att inte projektet ska bli allt för omfattande.

Handledaren har bestämt att prototypen ska drivas av en solpanel och en vindturbin, eftersom de kompletterar varandra bra beroende på varierande väder och energitillförsel. De ska även kompletteras med ett batteri med spänning 12 V.

Handledaren har redan en solpanel, vilken används i projektet. Solpanelen har följande specifikationer, de finns även i bilaga C.3:

- Area $A_{SP} = 1{,}64$ m^2
- Verkningsgrad $\eta_{SP} = 17{,}11$ %

Handledaren har även önskemål för vindturbinen:

- Höjd: max 1000 mm ovan mark
- Tillgänglighet: En leveranstid inom projektets tidslinje.
- Drift: 12 V märkspänning
- Effekt: minst 300 W

Ett annat krav som bestämts av handledaren är att prototypen ska monteras i en *Nanuk-väska*, det är en klimatsäkrad väska med IP 67 klassificering.

Handledaren har även bestämt att prototypen ska vara anpassad för stäppklimat,

då klimatet inte har många naturliga vattenresurser och är ett aktuellt område för vidare användning och utveckling. Prototypen ska bli testad i ett stäppklimat. Utgångsläge för prototypens anpassning och testning är staden Gruissan i södra Frankrike.*

En avgränsning är att fokus ska vara på prototypens funktion. Hur hållbar prototypen och komponenterna är samt vilket underhåll de behöver är något sekundärt i projektet och utreds inte avsevärt.

*I slutändan kunde ett test i stäppklimat inte genomföras på grund av myndigheters och andra organisationers begränsningar som åtgärder för Covid-19.

2

Teori

Under projektets gång så har flera olika områden undersökts för att lägga en grund för den framtagna prototypens konstruktion och hur den ska tillämpas. I följande kapitel presenteras den teoretiska delen relaterat till det.

2.1 Peltiereffekten

Många termoelektriska apparater använder sig av peltiereffekten, däribland peltierelement. Som även beskrivs i avnsnitt 1.1, uppstår peltiereffekten genom att applicera en DC-spänning över halvledarkomponenter. Då överförs energi i form av värme från en sida till en annan [2], vilket gör att en sida av terminalen upplever en temperaturökning, medan den andra sidan upplever en temperaturminskning. Det är den temperaturförändring som kallas peltiereffekten [3].

2.1.1 Peltierelement

Som beskrivet i avsnitt 2.1 använder peltierelement peltiereffekten, som medför en temperaturskillnad mellan de två sidorna på elementet. Under vissa förhållanden kan temperaturskillnaden mellan den kalla och varma sidan bli så stor som 70 °C [4]. Peltierelementen kan vara mycket små, helt tysta och kräver inget underhåll [5]. Däremot om elementet utsätts för en spänning högre än den maximala spänningen kan det resultera i överhettning, vilket kan leda till ett förstört eller försämrat element.

2.1.2 Kylning av peltierelement med kylflänsar

Effektutvecklingen, alltså värmen, som genereras av peltierelementet kan i vissa fall driva den varma sidan till 140 °C [5]. För att säkerställa att peltierelementet fungerar utan komplikationer och inte överhettas, behöver elementets varma sida kylas på ett effektivt sätt. För att undvika överhettning används kylflänsar. Kylflänsar är en passiv värmeväxlare, vilket betyder att den överför och transporterar värme [6]. Kylflänsarna kan monteras på peltierelementets varma sida för att leda bort den genererade värmen. Kylflänsar är ofta gjorda av material med hög termisk konduktivitet, exempelvis aluminium eller koppar. Koppar har en väldigt hög värmeledningsförmåga, vilket medför att värmeöverföringen i kylflänsen är mycket hög.

Aluminium har däremot något lägre värmeledningsförmåga jämfört med koppar. Dock kostar en aluminiumkylfläns mindre och har även lägre densitet [6].

På grund av kylflänsarnas goda värmeledningsförmåga kan värmen spridas över ett större område för att möjliggöra en effektivare kylning. Det går att effektivisera kylflänsarnas funktion ytterligare genom att ha ett flöde runt omkring dem [6], vilket en vattenpump eller fläkt kan inducera. Effektiviseringen har normalt ett värde mellan 0,2-1,0 (användning av värdet beskrivs i ekvation (2.2) och representeras som h, konvektionskoefficienten) för ett flöde på 0,001-0,016 m^3s^{-1} [7].

Den totala effektutvecklingen från peltierelementens varma sida beräknas med hjälp av den totala termiska resistansen från elementet till omgivningstemperaturen. Den totala termiska resistansen från elementet till omgivningstemperaturen, R_{eo}, beräknas enligt

$$R_{eo} = R_{ef} + R_{fo} + R_{jc} = \frac{\Delta T_{eo}}{Q_{matning} + Q_{kyleffekt}} \tag{2.1}$$

där R_{ef} är den termiska resistansen mellan elementet och kylflänsen, R_{fo} är den termiska resistansen mellan kylflänsen och omgivningen, R_{jc} är den termiska resistansen mellan halvledarkomponenterna och höljet, ΔT_{eo} är temperaturskillnaden mellan elementet och omgivningen, $Q_{matning}$ är effekten som elementet matas med och $Q_{kyleffekt}$ är peltierelementets kylkapacitet [8].

För att beräkna vilken termisk resistans kylflänsen måste ha för att klara av den termiska belastningen från peltierelementen kan ekvation (2.1) omformuleras till (2.2).

$$R_{fo} = \frac{\frac{\Delta T_{eo}}{Q_{matning}+Q_{kyleffekt}} - R_{ef} - R_{jc}}{h} \tag{2.2}$$

där h är en forcerad konvektionskoefficient grafiskt härledd från källa [7] med ett flöde på 0,047 m^3s^{-1}.

2.2 Kylpasta

Kylpasta används för att på ett mer effektivt sätt kunna överföra energi mellan två ytor [9], exempelvis mellan peltierelement och kylfläns. Genom att applicera kylpasta direkt mellan två ytor minimeras hålrummen mellan dem och på så sätt leds värmen eller kylan bort snabbare.

Kylpastans komposition varierar och några av de vanligaste ämnena som används är [9]:

- Aluminium
- Silver
- Koppar
- Gallium
- Zink-oxid
- Kisel-olja
- Grafit
- Nanopartiklar av kol

Metallerna i listan står huvudsakligen för ledningsförmågan i kylpastan medan resterande ämnen är bindmedel. Olika bindmedel används för att justera strukturen efter önskad funktion [10]. Då användningsområdet för kylpasta är stort finns också en stor diversitet. Krav på viskositet, användarvänlighet och ledningsförmåga varierar, därför är inte förhållandet mellan bindmedel och ledande material konstant för alla typer.

Kylklister är en variant av kylpasta som till skillnad från annan kylpastan även fungerar som lim [11]. Kylpasta behöver externt stöd för att hålla ihop de två ytorna. Kylklister använder sig istället av tvådels-epoxy som bindmedel för att få en bindande effekt. När tvådels-epoxyn har härdat är komponenterna starkt sammansvetsade och inget externt stöd krävs [11].

2.3 Vattenbehov

För att få en förståelse för hur mycket vatten som prototypen skulle behöva producera i självförsörjningssyfte har vattenbehovet för en människa undersökts.

Det nödvändiga vattenbehovet för en människa varierar mycket beroende på vad som definieras som nödvändigt. Behovet kan vara allt från en människas överlevnadsbehov till att det ska räcka för en grundläggande levnadsstandard. Överlevnadsbehovet för en människa varierar även beroende på en persons fysik, aktivitet samt klimatet där den befinner sig [12]. Tabell 2.1 visar mängden vatten beroende på olika behov.

Tabell 2.1: Förenklad tabell över rekommenderad vattentillgång [12].

Typ av behov	**Kvantitet [l/dygn]**	**Beroende**
Överlevnad	2,5-3,0	Klimat och individuellt behov
Grundläggande hygien	2,0-6,0	Sociala och kulturella normer
Grundläggande matlagning	3,0-6,0	Mattyp, sociala och kulturella normer
Totalt	**7,5-15,0**	

2.4 Väder

För att förstå prototypens förutsättningar undersöktes flera olika väderparametrar. Både för att förstå tillgängligheten av vatten i luften beroende på väder, men även för att förstå prototypens energitillgångar. Då prototypen drivs av förnyelsebara resurser genom en solpanel och en vindturbin är väderförhållanden högst relevanta för fastställande av batterikapaciteten. Batteriet ska göra driften av prototypen stabil då vädret alltid varierar och är oförutsägbart.

2.4.1 Kondensation och daggpunkt

Som nämnt i avsnitt 1.1 krävs temperaturskillnad mellan ytan som kondens ska bildas på och den omgivande luften, för att kondensation ska uppstå. Det krävs också att det finns vattenånga i luften, alltså en relativ luftfuktighet större än 0 %. Relativ luftfuktighet förklaras i avsnitt 2.4.2. När luft kyls ner så ökar den relativa luftfuktigheten i takt med att temperaturen sjunker och när den är 100 % når vattenånga i luften sin daggpunkt. Daggpunkten är då vattenångan, under ett specifikt tryck, inte längre klarar av att vara i gasform och kondenseras till flytande form.

Det finns flera olika formler för att räkna ut daggpunkten med hjälp av temperatur och den relativa luftfuktigheten. Beroende i vilket syfte beräkningarna görs så är noggrannheten olika relevant. Vissa formler tar hänsyn till större variationer av parametrar, men har då också ofta en högre komplexitet. I projektet används formeln presenterad i ekvation (2.3) för att beräkna daggpunkten då den ger noggrannast resultat [13][14], då modellen är bäst anpassad till verkligheten. Värt att påpeka är att konstanterna i källa [14] är felaktiga, vilket kompletteras av källa [13]. Källa [14] har själva refererat till källa [13] men inte presenterat på rätt sätt. Den korrekta ekvationen är

$$T_d = \frac{B\left[\ln\left(\frac{\mathrm{RH}}{100}\right) + \frac{AT}{B+T}\right]}{A - \ln\left(\frac{\mathrm{RH}}{100}\right) - \frac{AT}{B+T}} \tag{2.3}$$

med konstanterna $A = 17{,}625$ och $B = 243{,}04$ samt där variablerna $T =$ temperatur, $T_d =$ daggpunkt och $RH =$ relativ luftfuktighet.

2.4.2 Luftfuktighet

Luftfuktighet kan definieras som mängden vattenånga i atmosfären. I arbetet har två olika mått på luftfuktighet undersökts, relativ och absolut luftfuktighet. Absolut luftfuktighet definieras som massan vattenånga i en kubikmeter luft [15]. Lufttemperaturen påverkar den absoluta luftfuktigheten, ju varmare det är desto mer vattenånga kan finnas i atmosfären. Vid beräkning av absolut luftfuktighet d_v kan följande ekvation användas

$$d_v = 216{,}7 \cdot \frac{\frac{RH}{100\,\%} \cdot \alpha \cdot \exp\left(\frac{\beta \cdot T}{\lambda + T}\right)}{(273{,}15\ ^\circ\mathrm{C} + T)} \tag{2.4}$$

där $RH =$ relativ luftfuktighet, $T =$ temperatur, $\alpha = 6{,}112$, $\beta = 17{,}62$ och $\lambda = 243{,}12$ [16].

Den relativa luftfuktigheten definieras som mängden vattenånga i luften vid en viss temperatur i förhållande till den maximala mängden vattenånga vid samma temperatur och beskrivs därför som en procentsats [15].

2.4.3 Strålningstyper

När beräkningar på energiutvinning från solen utförs finns det flera olika strålningstyper att ta hänsyn till. Den totala mängden strålning som träffar en solpanel, den

globala strålningen vilket är den som är relevant, kan delas upp i direkt, diffus och reflekterad strålning [17]. Den direkta strålningen är den som passerar atmosfären utan att ändra bana och sedan träffar ytan. Diffus strålning har först krockat med partiklar vilket påverkat strålningens bana och reflekterad strålning har först reflekterats i marken. Den sistnämnda är ofta mycket liten jämförelsevis så den totala strålningen och antas därför i praktiska sammanhang bestå av direkt och diffus strålning [17].

2.5 Strömgenerering

Prototypen ska drivas av en vindturbin och en solpanel. I följande avsnitt presenteras teori gällande de olika typer av vindturbiner som idag är vanliga för att kunna välja en passande vindturbin till prototypen.

2.5.1 Horisontellaxlad vindturbin

En "Horizontal Axis Wind Turbine" (HAWT) är den slags vindturbin som idag utgör den största delen av världens vindkraft [18]. Den vind-fångande komponenten är i form av en proppeller som genererar en rotation i en horisontellt riktad axel. En HAWT är oftast placerade på hög höjd för att möjliggöra ett stort vingspann och växellådan kan tillåta långsam rotation på bladen i förhållande till det för generatorn optimala varvtalet. Turbinen måste riktas, beroende på design, antingen mot eller med vinden för att effekten ska maximeras. Mindre verk gör det med en vindflöjel och i större utföranden riktas den mekaniskt. På grund av sin relativt höga riktningskänslighet är de känsliga för turbulenta vindförhållanden. En HAWT har en verkningsgrad på 50-59 % [18].

2.5.2 Vertikalaxlad vindturbin

En "Vertical Axis Wind Turbine" (VAWT) fungerar på samma sätt som en HAWT fast med en vertikalriktad axel och med olika utseenden på bladen [18]. Det finns fem olika utseenden med olika verkningsgrader, η:

- Darrius VAWT
  - Egg-Beater: $\eta = 42$ %
  - Gyromill: $\eta = 23$ %
  - Darrieus-Masgrowe Rotor: $\eta = 20$ %
- Savonius Rotor: $\eta = 15$ %
- Combined Savonius and Darrieus Rotor: $\eta = 53$ %

En VAWT är inte så känslig för vindens riktning och är då mer lämpad för områden med turbulenta vindförhållanden [19].

2.6 Filter

För att minimera risken att vattnet som utvinns av prototypen är kontaminerat, utgör en hälsofara eller helt enkelt är smutsigt så kan olika slags filter användas.

Teori kring filter presenteras i följande avsnitt.

2.6.1 Luftfilter

Ett luftfilter används för att filtrera bort material i partikelstorlek ut ur ett luftflöde. Filtret drar till sig många olika typer av partiklar och föroreningar i luftflödet som kan påverka hälsan, exempelvis [20]:

- Damm
- Pollen
- Mögelsporer
- Bakterier och mikroorganismer
- Metall-, gips- eller träpartiklar

Vid tillverkningen av luftfilter så kan tillverkningsmaterialet variera. Huvudsakligen finns det tre olika sorters filter; glasfiberfilter, polyesterfilter samt HEPA-filter.

Av ovannämnda filter är glasfiberfiltret det vanligaste, då det är väldigt billigt. Filtret är uppbyggda med hjälp av siktade fiberglas som är pålagda över varandra. Filtret funkar bäst för att fånga upp större partiklar och föroreningar [21]. Filtret måste regelbundet tvättas för att minimera risken för försegling och slitage. Om filtret inte byts ut eller tvättas regelbundet så resulterar det i en försämrad luftcirkulation [20].

Polyesterfilter å andra sidan är lite dyrare att införskaffa sig. Polyesterfilter är tillverkade av bättre kvalitet jämfört med glasfiberfiltret. Den bättre kvalitén gör att filtret kan ansamla mycket mer och även mindre partiklar i luftflödet, som till exempel pollen och bakterier [21].

HEPA står för “High Efficiency Particulate Air”. Jämfört med de tidigare två nämnda filtren är HEPA-filtret det mest effektiva. Filtret har möjlighet att filtrera ut som minst 99,97 % av partiklar med storlek 0,3 μm [22]. HEPA-filter används idag i bland annat sjukhus, renrum och kärnkraftverk.

2.6.2 Vattenfilter

Ett vattenfilter används för att filtrera ut partiklar och föroreningar i olika storlekar ifrån vatten, exempelvis [23]:

- Bakterier
- Flytande skräp i vattnet såsom pinnar, sopor och löv.
- Tungmetaller
- Sand och smuts

De vanligaste vattenfiltren som används för att filtera dricksvatten för privatburk är kolfilter och mekaniska filter.

Kolfilter fungerar genom att kol absorberar och avlägsnar föroreningar. Kolet används för att fånga upp partiklar och föroreningar medan vattnet rinner igenom det. Kolfiltret används för att förbättra smaken på vattnet och reducera kemiska

föroreningar [24].

Mekaniska filter används för att filtrera bort fasta partiklar ifrån vattnet. Ett syntetiskt material används för att fånga upp partiklarna. Filtret förbättrar enbart klarheten i vattnet och filtrerar inte bort kemiska föroreningar [24].

2.7 Lagring

För att möjliggöra att systemet är verksam under de mest effektiva timmarna under dygnet så behöver både vattnet som skapas och energin lagras på ett så effektivt sätt som möjligt. I följande avsnitt presenteras hur det kan göras.

2.7.1 Lagring av vatten

Vatten kan lagras i en försluten behållare i minst en veckas tid utan att bli dåligt [25]. Om vattnet och behållaren är riktigt rena kan vattnet hålla sig bra betydligt längre än så, speciellt om det förvaras mörkt och svalt. Tilläggningsvis går det att dricka vatten som lagrats mycket längre än en vecka så länge det inte luktar illa, är grumligt eller missfärgat [25].

2.7.2 Litiumjonbatteri

Det finns några olika sorter av uppladdningsbara batterier. Ett av de vanligaste är litiumjonbatteri. Litiumjonbatterier har hög energidensitet och väger därför mindre i jämförelse med andra batterier [26]. Hållbarheten på batteriet beror på hur batteriet används, bland annat på hur stor del av kapaciteten som laddas ur vid varje tillfälle, “Depth of Discharge” (DoD). Hållbarheten beror även på vid vilken nivå batteriet arbetar, “State of Charge” (SoC), men också på hur stor ström som batteriet levererar, C-rate [27]. Att lagra batteriet vid låga SoC är mer fördelaktigt då det leder till mindre slitage. Genom att välja DoD och SoC som tar hänsyn till hållbarheten anpassas den totala batterikapaciteten så att den är större än den kapacitet som faktiskt används [28][29]. En låg DoD är fördelaktig och användning vid lägre SoC likaså.

2.8 Vattenkvalitet

Kvaliteten av vattnet som prototypen producerar är av stor betydelse, då vattnet inte fyller någon större funktion om det är hälsofarligt och alldeles för kontaminerat. Prototypens vatten antas likvärdigt med brunnsvatten, då det finns tillgängliga tester på marknaden för den typen av vatten.

Brunnsvatten bör testas minst var tredje år, speciellt om barn ska förtära vattnet [30]. För brunnsvatten testas ett flertal parametrar såsom mikrobakteriella och kemiska. De kemiska parametrarna inkluderar däribland PH-värde, hårdhet på vatten, mängd “harmlösa grundämnen” och mängd “hälsofarliga grundämnen” [30]. Det som

menas med “harmlösa grundämnen” är ämnen så som järn, koppar och natrium. Det som menas med “hälsofarliga grundämnen” är ämnen så som bly, arsenik, radon och uran. Även om de så kallade “harmlösa grundämnen” kan vara skadliga i stor mängd så är det inte alls lika farliga som “hälsofarliga grundämnen”.

Brunnsvattnet ska som sagt testas minst var tredje år, men ska även testas om förändringar i miljön har skett [30]. För prototypen som är mobil innebär det att vattnet bör testas på varje ny plats som den används på.

Efter en undersökning av vattenkvalitetstester som är tillgängliga på marknaden, konstaterades det att de som är väldigt utförliga och omfattar det som ovan beskrivs som lämpliga parametrar att testa för brunnsvatten är ganska dyra och kostar cirka 1500 kr. Det finns även andra tester på marknaden som inte är lika utförliga som kostar omkring 150 kr. De billiga testerna tester oftast endast PH-värde, hårdhet på vatten, bromvärdet samt klorhalt eller alkalinitet, vilket inte ger mycket information om vattnets lämplighet till förtärning, då testerna inte omfattar många olika grundämnen.

3

Metod

I följande kapitel beskrivs arbetsprocessen, både från ett generellt perspektiv, men även mer detaljerat genom att beskriva processer och motivera underliggande resonemang bakom olika slags beslut. En del beräkningar presenteras och även genomförandet av tester på prototypen beskrivs.

3.1 Design av prototyp och val av *Nanuk*-väskans dimension

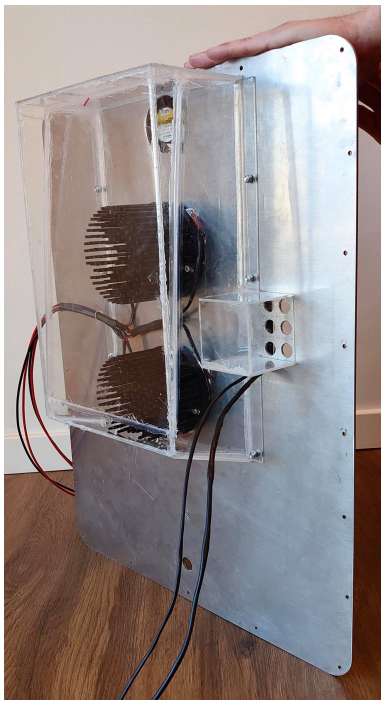
En av förutsättningarna, beskrivet i kapitel 1.4, var att prototypen skulle monteras i en *Nanuk*-väska, därav utgår designen av prototypen utifrån den. För att rymma hela prototypen, batterier och diverse elektronik valdes NANUK 965. Som tillval till väskan valdes även ett "Aluminium panel kit" för att montera prototypen på. För att väskan ska behålla sin IP 67 klassificering får den inte modifieras [31], därför är prototypen designad utefter väskans förutsättningar.

I väskan alldeles vid locket sitter aluminiumplattan som nästan alla komponenter sitter fast i. Aluminiumplattan sitter som ett lock på väskans utrymme och är tätat. Sex stycken peltierelement är placerade på undersidan av plattan mot väskans innerutrymmet, med de varma sidorna i kontakt med aluminiumplattan. Fastskruvade ovanpå peltierelementen är kylflänsar för att sprida kyla så att vatten kan kondensera på dem. Två kylflänsar används och under varje kylfläns sitter tre peltierelement. Mellan aluminiumplattan, element och flänsar är kylpasta applicerad. Ovanför peltierelementen finns ett hål i aluminiumplattan med en fläkt (den beskrivna fläkten benämns som den lilla fläkten i resterande rapport) som skapar ett luftflöde med ny fuktig luft in till innerutrymmet. På sidan av aluminiumplattan finns hål för utflödet av den torrare "använda" luften. I figur 3.1 visas en bild på den beskrivna sidan (kylsidan) av aluminiumplattan.

På andra sidan av plattan, som då är varm, finns en annan typ av kylflänsar fästa vars funktion är att kyla ner aluminiumplattan som blir varm av elementen undertill. Precis som på andra sidan används två stycken kylflänsar och även mellan dem och aluminiumplattan är kylpasta applicerad. Som beskrivet i 2.1.2 kan det vara fördelaktigt att ha en fläkt som ventilerar den närliggande luften till kylflänsen för

att stödja kylprocessen. Därför finns en fläkt monterad på plattan vid kylflänsarna (den beskrivna fläkten benämns som den stora fläkten i resterande rapport). I figur 3.2 visas en bild på den beskrivna sidan (värmesidan) av aluminiumplattan.

Ovanför och runtomkring flänsarna, fästa i aluminiumplattan, sitter kåpor som skiljer de olika delarna av prototypen samt skapar ett relativt slutet system. Ritningar på kåporna finns i figur D.1 respektive D.2. I botten av väskan avgränsat ifrån kylsidan med hjälp av kåpor, finns utrymme för batterier, elektronik samt en vattentank som ska samla det kondenserade vattnet. Från vattentanken går en slang till en kran som sitter igenom aluminiumplattan, där kranens tapp sitter på värmesidan av aluminiumplattan (sidan mot väskans lock).



Figur 3.1: Bild på kylsidan av aluminiumplattan.

Figur 3.2: Bild på värmesidan av aluminiumplattan.

När bilderna till figurerna 3.1, 3.2 och 3.3 togs var inte prototypen helt klar. Det som inte än var monterat var vattenkranen, slangen och vattentanken. Figurerna visar ändå den konceptuella designen relativt bra.

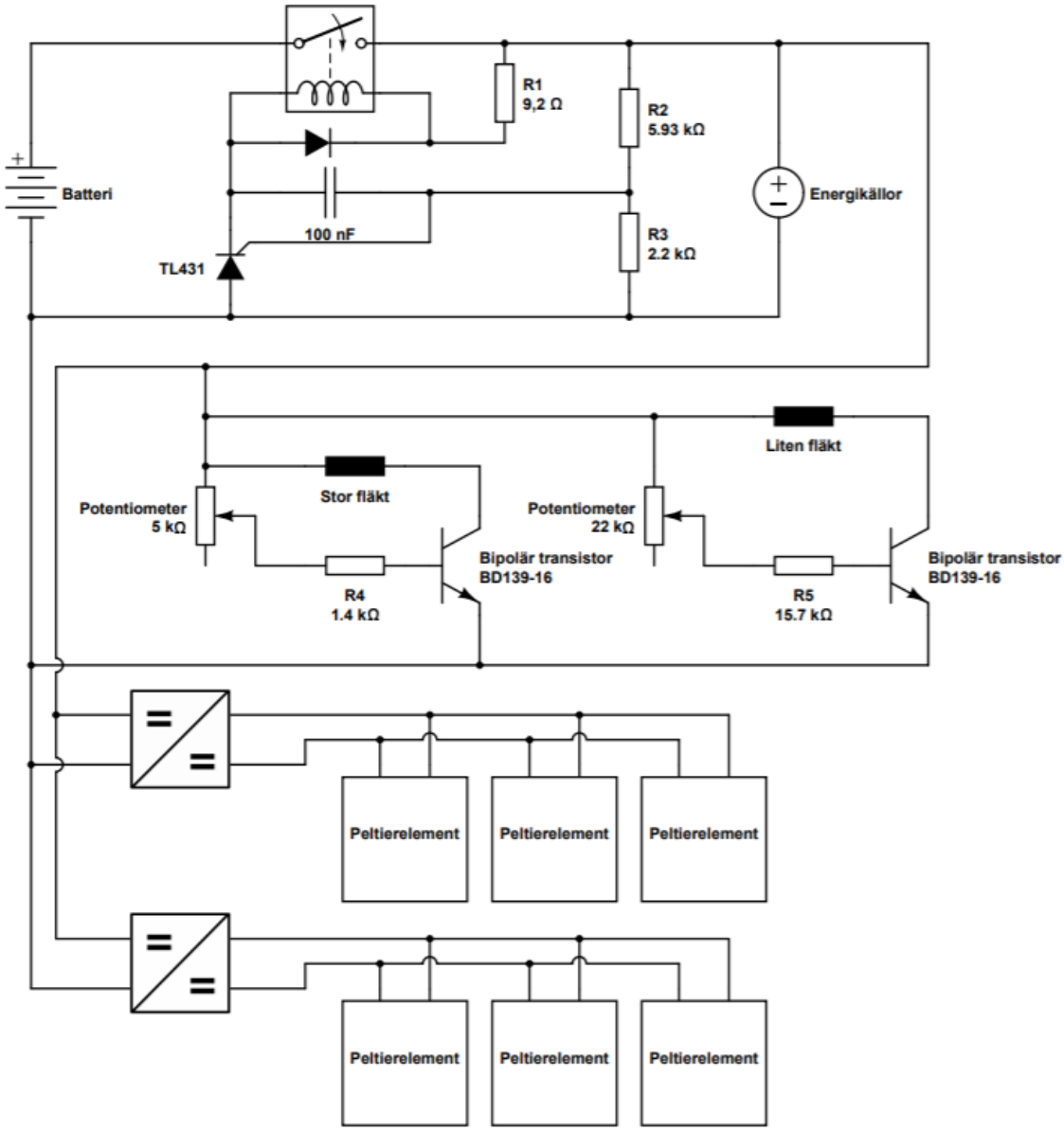
Figur 3.3: Bild på tvärsnittet av aluminiumplattan.

3.2 Styrning och reglering

För att få en optimal prestanda behövde de olika komponenterna kunna regleras. Genom att implementera olika manuella styrfunktioner kunde det åstadkommas. Med hjälp av två potentiometrar kan fläktarnas hastighet regleras och med hjälp av två DC/DC-omvandlare kan peltierelementen styras så att de har optimal spänningen över sig. Ett passivt urladdningsskydd kontrollerar så att batterispänningen inte blir för låg.

I figur 3.4 ges en överblick på hur elektroniken i prototypen är kopplad. Den kan delas upp i tre delar; ett urladdningsskydd, reglering av fläktarnas hastighet och en del bestående av peltierelementen med omvandlarna. Fläkthastigheten för båda fläktarna regleras genom användandet av en bipolär transistor, en potentiometer och några resisistorer som utgör en basresistans. Genom att variera strömmen som går in i basen på transistorn kan den totala strömmen kontrolleras och därmed också fläkthastigheten. Det åstadkoms genom att variera den totala resistansen mellan basen på transistorn och batteriet. För att fläktarna ska kunna varieras inom rätt intervall har värdet på resistorerna och potentiometrarna anpassats efter fläktarnas och transistortypens karakteristik. För att på bästa sätt kunna utnyttja elementen behövdes spänningen kunna justeras ifrån den annars relativt konstanta batterispänningen. Batterierna är säkrade genom ett urladdningsskydd som kopplar ifrån

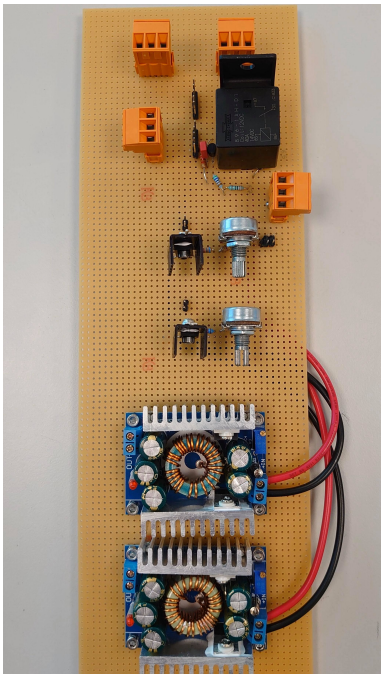
all belastning när spänningen över batteriet blir för låg.



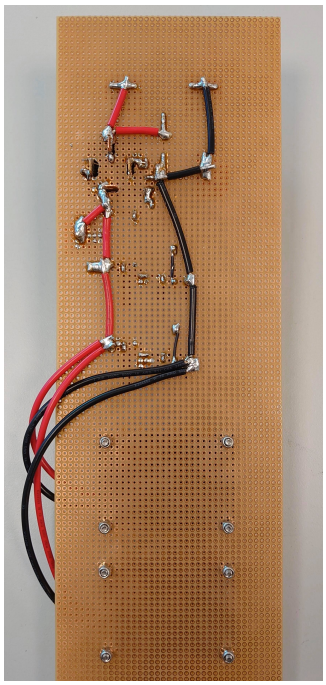
Figur 3.4: Kretsschema över all elektronik. De olika potentiometrarna styr fläkthastigheterna, DC/DC-omvandlarna förser peltierelementen med rätt spänning, urladdningsskyddet skyddar batterierna och symbolen energikällor består av en batteriladdare som kan kopplas till ett väguttag och de olika förnyelsebara energikällorna.

Som kan ses i figur 3.4 förekommer det två DC/DC-omvandlare. Orsaken till det är att ingen omvandlare hittades som kunde klara av belastningen från alla peltierelementen, därför delades lasten upp mellan två.

I figur 3.5 och 3.6 visas bilder på kretskortet.



Figur 3.5: Bild på framsidan av kretskortet.



Figur 3.6: Bild på baksidan av kretskortet.

I figur A.2 finns underlaget som användes till att bestämma storleken på komponenterna till fläktregleringen. Med värderna kunde en transistor som skulle klara av belastningarna väljas och genom att göra överslagsräkning kunde anpassade värden på potentiometrarna och resistorerna bestämmas. Till exempel antogs en förstärkningsfaktor $\beta = 80$, ett spänningsfall på 0,7 V mellan bas och emitter och en konstant batterispänning på 12 V vilket gjorde att med värdena ifrån figur A.2 kunde potentiometrarnas resistansintervall tas fram. Något som märktes då komponenterna testades var att förstärkningsfaktorn sjönk kraftigt med högre ström, det gjorde att i slutändan användes ett lägre värde på potentiometern för den lilla fläkten. Basresistanserna experimenterades sedan fram så att fläktarna skulle kunna fungera så optimalt som möjligt. Den lilla fläkten önskades ha ett så stort intervall som möjligt och den stora skulle kunna nå en så hög hastighet som möjligt, men fortfarande kunna sänkas.

Urladdningsskyddet fungerar genom en kombination av komponenten TL431 och ett relä. TL431 kan ses som en varierbar zenerdiod, den leder i backriktningen då referensspänningen till den är cirka 2,5 V eller mer. Genom att anpassa en spänningsdelning med några resistorer så att 2,5 V nås vid önskad batterispänning enligt

$$V_{batteri} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = V_{ref} = 2{,}5\,\mathrm{V} \tag{3.1}$$

kan gränsen för skyddet sättas. TL431 tillåter alltså spolen i reläet att leda då

spänningen är tillräckligt hög och därmed stänga brytaren till kretsen. I praktiken driver batteriet kretsen tills spänningen över batteriet är för låg och då kopplas batteriet ifrån. För att kretsen ska slutas måste sen någon av energikällorna driva upp spänningen över gränsen, då sluts kretsen igen och batteriet kan börja laddas. När batteriet sen laddats upp och har en högre spänning håller batterispänningen brytaren stängd.

För att reläet ska kunna sluta kretsen krävs det en viss ström genom spolen. Strömmen mättes upp genom att undersöka när brytaren stängdes. Anledningen till att det behövde göras var för att senare kunna begränsa strömmen som går genom TL431 då den har en maximal ström på 100 mA. Genom att experimentera kunde motståndet R1 i figur 3.4 bestämmas så att reläet både öppnades och stängdes vid ungefär den önskade spänningen.

I figur 3.4 finns det en symbol med namnet energikällor. Den representerar energikällorna samt en laddningsmodul för batteriet. Laddningsmodulen möjliggör laddning av batterierna manuellt ifrån ett vägguttag. Den implementerades genom att en stickkontakt anslöts med kablarna; fas, neutral, jord och sedan kopplades två kablar ifrån modulen till kretsen, en kabel för varje polaritet.

3.3 Val av peltierelement

Vid val av peltierelementen fanns det två viktiga egenskaper att ta hänsyn till. De var att peltierelementet skulle kunna nå en tillräckligt låg temperatur som gör att prototypen kan kondensera vatten även under de kalla vintermånaderna. Den andra viktiga parametern för att hitta ett relevant element var att det skulle ha en lämplig storlek. Med de givna grunderna valdes peltierelementet TEC1-12710. Elementet har en storlek på $40 \cdot 40 \cdot 3{,}4$ mm. Enligt bruksanvisningarna klarar elementen av en belastning på 15,4 V och 10 A [32].

3.4 Val av vindturbin

Som beskrivet i 1.4 var höjden på turbinen strikt begränsad så en HAWT uteslöts tidigt på grund av det stora utrymmeskravet. Turbinen ska vara placerad på marken, i relativ närhet till prototypen. På grund av det tänkta användningsområdet måste turbinen klara av en suboptimal placering med kraftigt fluktuerande vindförhållanden. För det krävs en turbin som redan vid små vindhastigheter klarar av att generera effekt och är rundstrålande för att kunna hantera turbulent vind. Turbinen ska användas tillsammans med solpaneler och kopplas till ett batteri, det ojämna energiflödet från vindtubrinen kan då hanteras av batteriet vilket möjliggör en kraftigt fluktuerande energi från turbinen. Med ovanstående motivering så valdes Savonius Rotor VAWT Lantern type som enligt dokumentation klarar av ovanstående förhållanden relativt bra [18].

3.5 Val av kylfläns på värmesidan av peltierelementen

Utifrån informationen i avsnitt 2.1.2 gjordes valet av kylfläns på värmesidan baserat på den maximala summan av genererad effekt i form av värme från peltierelementen i förhållande till den absolut högsta tänkbara genomsnittstemperaturen i Gruissan (som är platsen prototypen är anpassad för, se 1.4). Effekten används i ekvation (2.2) för att hitta minimumkravet på kylflänsens termiska resistans. Värdet för genomsnittstemperaturen hämtades från väderdata, vilket beskrivs i avsnitt 4.1 och var $\Delta T_{eo} = 32{,}9$ °C. Den förslagna driftpunkten var $Q_{matning} = 72{,}19$ W, och från leverantörsdata kunde peltierelementens kyleffekt avläsas, $Q_{kyleffekt} = 92{,}4$ W/element = 277,2 W/fläns. $R_{ef} = 0{,}143$ KW^{-1} kunde fås från kylpastans specifikationer, R_{ef} försummas för att data inte finns tillgänglig och från källa [7] kunde den forcerade konvektionskoefficienten hittas $h = 0{,}2$. Minimum kravet på flänsens termiska resistans blir enligt (2.2) då den önskade termiska resistansen för kylflänsen $R_{fo} = 0{,}471$ KW^{-1}.

Baserat på värdet för termisk resistans så valdes en kylfläns med dimension $200 \cdot 150 \cdot 40$ mm och $R_{fo} = 0{,}53$ KW^{-1}. Värdet avviker från minkravet med 0,059 KW^{-1}, men bedömdes som en accepterbar kompromiss för att hitta en fläns med dimensioner som passade med prototypens design. I figur 3.7 visas en bild på den valda kylflänsen.

Figur 3.7: Bild på vald kylfläns för värmesidan.

3.6 Val av kylfläns på kylsidan av peltierelementen

Valet av kylfläns på kylsidan av peltierelementen var betydligt svårare än valet av kylflänsen för värmesidan. Det är på grund av att kylflänsen på kylsidan har ett ovanligt syfte och det finns inte särskilt mycket dokumentation kring det. Valet av kylflänsen baserades dock på informationen i avsnitt 2.1.2. De fyra olika parametrarna som undersöktes var: Termisk resistans i relation till form samt storlek i relation till kylförmåga.

För att uppskatta den termiska resistansen i relation till form antogs det önskvärt att maximera kondenseringsmängden. För att göra det behövs en så stor mängd luft som möjligt, under loppet av en relativt kort tidsperiod, kylas ned och nå daggpunkten, daggpunkten beskrivs i avsnitt 2.3. När daggpunkten är nådd och vattnet kondenserat på kylflänsens yta behöver vattnet föras bort så att ny kondens kan bildas. Därför bör en fläns med så lågt termisk resistans som möjligt väljas för att maximera mängden överförd energi till omgivningen.

För att uppskatta storlek i relation till kylförmåga är det viktigt att inte överdimensionera flänsen i förhållande till elementen. Flänsen får därför inte vara för stor.

Utifrån ovanstående motivering valdes en kylfläns med extruderande runda pinnar då de både har stor yta i kontakt med omgivande luft, samt en form som underlättar för kondensdroppar att bildas och falla. Dimensionerna är 100 $\varnothing \cdot 70$ mm. I figur 3.8 visas en bild på den valda kylflänsen.

Figur 3.8: Bild på vald kylfläns för kondenseringsidan.

3.7 Val av fläktar

I följande avsnitt beskrivs de olika fläktarna som används i prototypen och vad de har för funktion.

3.7.1 Den lilla fläkten

Som beskrivet i avsnitt 3.1 är den lilla fläktens uppgift att transportera ny luft till de kalla kylflänsarna så att det hela tiden finns fuktig luft som vatten kan utvinnas ur. Ett viktigt kriterie för fläkten är att den inte får vara för stark så att den bidrar till en avdunstande effekt på kylflänsen. Samtidigt måste flödet av luft vara tillräckligt stort för att kunna producera så mycket vatten som möjligt då luftfuktigheten är

mycket hög.

För att bestämma storleken på fläkten behövde vädret vara känt. Därför antas att temperaturen är 20 °C och att luftfuktighet är 50 % en generell dag i den tänkta miljön. Den absoluta luftfuktigheten, enligt ekvation (2.4), blir då ungefär 8,6 g/m^3. Totalt behöver då 280 m^3 luft strömma igenom prototypen för att producera 2,4 liter vatten, som beskriv som det absoluta minimumet för överlevnad i avsnitt i 2.3. Om drifttiden antas vara 10 timmar krävs då ett flöde på minst 28 m^2 luft i timmen. Utifrån beräkningen och kravet att fläkten behövde vara minst IP 67, valdes fläkten Sanyo Denki 9WP0612H402, specifikationer för fläkten finns i figur C.2.

3.7.2 Den stora fläkten

Som beskrivet i avsnitt 3.1 är den stora fläktens uppgift att ventilera den närliggande luften till kylflänsen som ska kyla ner den varma sidan av peltierelementen. Ju högre luftens hastighet är som passerar igenom kylflänsen desto mer kyls den, dock avtar effekten av ett högre luftflöde drastiskt när luftens flöde når en viss punkt, vilket kan ses i fläktkurvan i källa [7].

Utifrån kravet att fläkten behövde vara minst IP 67 samt att de önskade dimensionerna var cirka 120 · 120 mm ledde till att urvalet av fläktar blev väldigt begränsat. Alla fläktar med ovannämnda egenskaper hade ungefär samma flöde.

Området fläkten ska förse med luft är ungefär 0,00679 m^2 och den önskade hastigheten på luften är 5 m/s [8]. Flödet är area multiplicerat med hastighet på luften, då blir det önskade flödet 122,22 m^3/s. Eftersom att fläkten är riktad nedåt blir det stora förluster i det verkliga flödet.

Emellertid valdes Ebm-papst 4312U och den har ett flöde på 170 m^3/h. Flödet tillfredsställer det önskade beräknade värdet, men med förlusterna som skapas i verkligheten är det inte säkert. En lufthastighet runt 2,5 m/s är tolererbart [8], vilket den valda fläkten säkerligen uppfyller, trots att det inte är optimalt. Fläktens specifikationer finns i figur C.1.

3.8 Val av kylpasta

Valet av kylpasta baserades på de tre parametrarna som tidigare presenterats i avsnitt 2.2: Termisk ledningsförmåga, appliceringsmetod, pris och tillgänglighet.

Vid en närmare undersökning av termisk ledningsförmåga uppmärksammades att skillnaden mellan de branschledande tillverkarnas produkter är marginell och att skillnaden mellan de högst presterande produkterna resulterade i en temperaturskillnad på ca ±2 °C vid användning [10].

Appliceringsmetod för kylpastan var mycket viktigt då användarvänligheten och funktion var viktiga. För att skapa en hållbar prototyp med utvecklingsmöjligheter

valdes det att inte använda varken flytande metall eller kylklister. Flytande metall bedömdes som alldeles för svårhanterligt samt att den vanligaste huvudkomponenten är gallium som kraftigt eroderar aluminium, en mycket vanlig metall i kylflänsar. Kylklister valdes bort då det, när väl härdat, inte går att flytta utan att riskera att andra komponenter går sönder.

En marknadsundersökning av de högpresterande produkterna påvisade små prisskillnader mellan dem. De flesta märken visade sig även tillgängliga hos flertalet återförsäljare.

Med ovanstående parametrar i åtanke så valdes Gelid GC-Pro Kylpasta. Anledning till valet var att kylpastan var både attraktivt prismässigt, men den innerhar även en god termisk ledningsförmåga på 7,0 W/mK. Enligt produktbladet så är kylpastan jämfört med konkurrenterna väldigt lättapplicerad [33], vilket gjorde att kylpastan passade väldigt bra till det givna ändamålet.

3.9 Val av material till kåpor

Som beskrivet i 3.1 innesluts prototypens delar av kåpor. Kåporna är gjorda av akrylplast, även vattentanken nämnd i 3.1 är gjord i akrylplast. Plast är inte så känsligt för fukt, vind och andra väderförhållanden vilket är en viktig punkt eftersom prototypen ska vara IP 67. Anledningen att metall inte användes är för att det är svårare att bearbeta för hand. Akrylplast är relativt svårt att limma. Därför används ett speciellt akryllim (Acrofix 116) som löser upp plasten i bindningen och sedan avdunstar limmet och plasten härdar ihop till en enhet [34]. För att få kåporna helt vattentäta har även silikon applicerats i alla skarvar.

3.10 Väderanalys

För att få en överblick av hur väderförhållandena varierar under året och under dygnet gjordes en analys av flera års data. Analysen gjordes med hjälp av data som var uppmätt mellan januari 2012 - februari 2020 ifrån en väderstation i Beziers, lokaliserat ett fåtal mil norr om platsen där prototypen skulle testats. Datan bestod av samplingspunkter med 3 timmars mellanrum året runt inom kategorierna luftfuktighet, temperatur och vindhastighet. Datan är erhållen från direkt kontakt med en referens på SMHI. Datan erhölls i form av tre olika Excel-filer, en för varje parameter [35].

Först strukturerades datan upp i Excel till en gemensam fil för att sedan enklare kunna importeras till Matlab för vidarehantering. För att kunna göra en tidsdetaljerad analys delades datumen (som var på formen år-månad-dag tid i varje cell) upp så att varje del befann sig i en egen cell, vilket gjorde att skapandet av funktioner som tog värden som enbart tillhörde en viss kategori underlättades enormt. Varje kolumn i Excel bestod alltså först av de olika delarna av datumet och sedan värdena för de olika datakategorierna därefter. Vid import av filen till Matlab blev den skapade

matrisen på liknande format där varje kolumn representerade olika saker. Vid urval av specifik data för exempelvis värdet för januari klockan 03:00 så korrelerade det med värde 1 i en månadmatris och värde 3 i en tidmatris. En funktion som skapade en medelvärdesbildad matris sett till tid och månad användes till att välja ut data och ta medelvärdet. Den medelvärdesbildade matrisen kunde sedan användas för att grafiskt visa resultatet. I Excel lades även formlerna in för daggpunkt och absolut luftfuktighet (ekvation (2.3) och (2.4)) som skapade värdena korrelerade till varje sampel av temperatur och relativ luftfuktighet. Det var en datapunkt (en specifik tidpunkt) som inte fanns för både temperatur och för relativ luftfuktighet. Då de framtagna parametrarna är beroende av båda togs datapunkten bort för att undvika ett fel i Excel där det blev ett värde och inte ett felmeddelande. Värdet borde varit icke existerande men Excel satte det till 0 vilket då skulle lett till att det räknades med i medelvärdet.

3.11 Effektberäkningar

I följande avsnitt är tillvägagångssättet för framställning av effektdata beskrivet med syfte att uppskatta batterikapacitet och drifttid. Effektberäkningarnas olika resultat presenteras i avsnitt 4.3.

3.11.1 Effekt från vindturbin

På liknande sätt som för väderanalysen var en Excel-fil tvungen att skapas för effektuppskattningen, då energin är beroende av temperaturen och av vindhastigheten. Samma väderdata som användes för väderanalysen användes även för effektuppsakttningen. Det som gjordes annorlunda för effektuppskattningen var att i Excel-filen skulle vind och temperatur behöva matchas, alltså datumet och tiden skulle stämma överens för de bådas datapunkter. Mellan vind- och temperaturdatan fanns många sampel där en av parametrarna saknade värde för en tidpunkten vilket innebar att flera värden tvingades tas bort. Den allmänna formeln för utvecklad effekt för vindturbiner, P_{VT}, ges av [36]

$$P_{VT} = \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho(T) \cdot A \cdot \eta_{VT} \tag{3.2}$$

där v står för hastigheten på vinden som slår mot rotorn och är en variabel som ändras med tiden. Verkningsgraden, η_{VT}, valdes till 0,3 (30 %) då det verkade vara en rimlig uppskattning för en sådan vindturbin som införskaffats [37].

A är arean och motsvarar den cirkulära tvärsnittytan som rotorbladen tar upp när de roterar. Radien på den valda vindturbinen är 0,45 m och arean kan beräknas enligt den allmänna formeln för en cirkels area. Härledning av densiteten, $\rho(T)$, och vad den påverkas av kan ses i bilaga B.

För att uppskatta effekten från vindturbinen och ta hänsyn till vädrets oförutsägbara aspekt togs medelvärdet av den utvecklade effekten, som beräknades enligt ekvation (3.2) för olika tidpunkter och månader.

3.11.2 Effekt från solpanel

För att få insolationsdata användes Europa kommissionens "Photovoltaic geographical information system" [38] som tillåter användaren att ladda ner strålningsintensitetsdata vid angivna koordinater. Datan sträckte sig från år 2005 - 2016 och presenterades i en Excel-fil med en timmes mellanrum mellan varje datapunkt och började år 2005, första januari kl 00.30. Filen strukturerades också upp för att förenkla hanteringen bland annat genom att dela upp datumen och genom att addera alla typer av strålningsdata (se avsnitt 2.4.3) som presenterades var för sig. Strålningsintensitet ges som effekt per kvadratmeter så för att få fram effekten från solpanelen var det endast att multiplicera med arean A_{SP} och verkningsgrad η_{SP} enligt

$$P_{SP} = I \cdot A_{SP} \cdot \eta_{SP} \tag{3.3}$$

där strålningsintensiteten I är tidsberoende och de övriga parametrarna är givna i solpanelens produktblad, som finns i figur C.3. Vid beräkningar antogs solpanelens position vara fast med den optimerade vinkeln 39° mot marken och 1° azimut enligt [38].

3.11.3 Totala effekten

När effekten från både solpanelen och vindturbinen skulle läggas ihop till den totala effekten var det nödvändigt att värdena för de olika tiderna och månaderna matchade. Det som behövde göras var därför att ta fram värden för varje timme gällande vindenergin och att ta fram värden för solenergin så att de låg vid varje heltimme.

En funktion som expanderade matriserna (som hade importerats) med vind och temperaturdatan skapades. Den tog en linjärapproximation mellan två värden om de hade 3 timmars mellanrum (ibland saknades det ett värde och 6 timmars mellanrum gjorde att det blev irrelevant att försöka uppskatta alla värdena där emellan) och skapade sedan två nya punkter mellan som sedan lades in i en ny matris. Samtidigt skapades datum för de nya punkterna så att de precis som tidigare skulle kunna hanteras lättare. Tabell 3.1 och 3.2 visar hur processen gick till.

Tabell 3.1: Tabell som visar hur den importerade matrisen för vind- och temperatur kunde se ut innan manipulation [39][40].

År	**Månad**	**Dag**	**Tid**	**Vindhastighet [m/s]**	**Temperatur [°C]**
2012	01	24	06:00	7,2	9,2
2012	01	24	09:00	5,1	11,1
2012	01	24	15:00	7,2	13,6
2012	01	24	18:00	2,6	9

Tabell 3.2: Tabell som visar hur den nya matrisen för vind- och temperatur såg ut efter manipulation [39][40]. De fetmarkerade värdena är uppskattade utifrån linjär approximation.

År	**Månad**	**Dag**	**Tid**	**Vindhastighet [m/s]**	**Temperatur [°C]**
2012	01	24	06:00	7,2	9,2
2012	01	24	07:00	**6,5**	**9,8**
2012	01	24	08:00	**5,8**	**10,5**
2012	01	24	09:00	5,1	11,1
2012	01	24	15.00	7,2	13,6
2012	01	24	16:00	**5,7**	**12,1**
2012	01	24	17:00	**4,1**	**10,5**
2012	01	24	18:00	2,6	9

Sedan användes en funktion som räknade ut effekten för varje datapunkt för temperatur och vindhastighet. Därefter kunde en modifierad version av funktionen som skapar en medelvärdesbildad matris i väderanalysen användas för att få fram en 24×12 stor matris.

För att få fram en likadan matris för insolationsdatan behövdes värden tas fram som stämde med varje heltimme. En funktion som tog medelvärdet av närliggande minutvärdens medelvärde användes. Medelvärdet för 00:30 och 01:30 för olika månader skapade värdet för 01:00. Först multiplicerades insolationsdatan med arean på solpanelen och verkningsgraden enligt ekvationen (3.3) för att få ut effekten. Därefter kunde återigen en justerad version av den ursprungliga medelvärdesbildningsfunktionen, som var anpassad efter insolationsdatan, användas för att skapa en 24×12 stor matris. Slutligen kunde den beskrivna funktionen användas för att skapa värdena vid varje heltimme.

För att tillslut få fram den uppskattade totala effekten, för varje månad och heltimme, lades alla funktioner in i ett skript i Matlab där all den nödvändiga datan först importerades ifrån Excel till att slutliggen addera två stycken 24×12 matriser.

3.12 Val av batteri

Som beskrivet i 2.7.2 behövs ett batteri för att kunna ta tillvara på energin som genereras av solpanelen och vindturbinen när all producerad energi inte används samt kompensera för de förnyelsebara energikällornas variationer. Under avsnitt 2.7.2 presenteras informationen gällande litiumjonbatterier, vilket är batteritypen som valdes till projektet. Grunden till valet är litiumjonbatteriers höga energidensitet som minimerar prototypens vikt, vilket även det beskrivs i avsnitt 2.7.2. I avsnitt 3.13.2 beskrivs hur batterikapaciteten uppskattades.

3.13 Dagsrytm av prototyp

För att bestämma när prototypen skulle drivas för att effektiviteten skulle vara så hög som möjligt undersöktes resultatet ifrån väderanalysen. Analysen gav tydlig information om under vilka tider som förhållandena var mest gynnsamma. Genom att titta på den relativa luftfuktigheten, absoluta luftfuktigheten och på differensen mellan temperaturen och daggpunkten kunde drifttiden bestämmas utifrån när vattenproduktionen är som effektivast.

3.13.1 Drifttid

För att få fram hur länge prototypen kan drivas så behövdes information gällande prototypens totala effekt och den tillgängliga energin. Prototypens totala förbrukade effekt kan fås genom att addera alla olika komponenters effektförbrukning enligt

$$P_{prototyp} = P_{element} + P_{Stor\ fläkt} + P_{Liten\ fläkt} \tag{3.4}$$

där $P_{element}$ står för elementens totala energiförbrukning. Fläktarnas effekt antas vara den maximala enligt deras specifikationer (som visas i figur C.1 och C.2) då spänningen är 12 V och strömmen 0,5 A för den stora och 12 V och 0,11 A för den lilla. Elementens totala effekt togs enligt vad som var effektivast vilket baserades på värdena i figur A.1.

För att ta fram den tillgängliga energin, E_{dygn}, användes den totala energin som togs fram enligt 3.11.3. Genom att beräkna arean under linjegraferna för de olika månaderna i figur 4.9 kunde den tillgängliga energin för varje månad erhållas. Slutligen var det bara att dividera den tillgängliga energin med prototypens effektförbrukning för att få ut hur många timmar drifttiden var enligt

$$\frac{E_{dygn}}{P_{prototyp}} = T_{drift} \tag{3.5}$$

där E_{dygn} varierar beroende på vilken månad som valts. I avsnitt 4.3 presenteras resultatet för drifttiden.

3.13.2 Batterikapacitet

Vid val av batteriets kapacitet så utgick beräkningarna ifrån december månad då december månad har lägst inkommande effekt (se figur 4.9). Det för att batteriet redan skulle bli väldigt stort (och tungt) och anpassningen medför även att prototypen kan vara i drift minst lika många timmar i december som alla andra månader.

För att få ut batterikapaciteten i amperetimmar krävs kännedom om spänning på batteriet och E_{dygn}. Enligt förutsättningarna i avsnitt 1.4 ska spänningen på batteriet vara 12 V. Batterikapaciteten beräknas enligt

$$K = \frac{E_{dygn}}{U_{batteri}} \tag{3.6}$$

Som beskrivs i avsnitt 2.7.2 är det fördelaktigt att använda låg DoD och låta batteriet arbeta vid låg SoC. En DoD på 60 % och en SoC mellan 70-10 % skulle därför kunna tillgodose båda faktorerna samtidigt som totala kapaciteten förblir relativt låg. Batterikapaciteten K ska motsvara 60 % av batteriets verkliga kapacitet, den verkliga blir därför

$$K_{verklig} = \frac{K}{0{,}6} \tag{3.7}$$

I avsnitt 4.3 presenteras den beräknade batterikapaciteten.

3.14 Test av prototypens vattenproduktion

Som beskrivet i 1.4 var en av förutsättningarna att anpassa och testa prototypen i stäppklimat, men på grund av rådande restriktioner från myndigheter och andra organisationer under år 2020, gick det inte att genomföra. Tester utfördes istället i Sverige och då den solpanel som hade planerats att användas befann sig i Frankrike valdes att inte testa prototypen som helhel med den tänkta energitillförslen och med de tänkta driftrutinerna. Under testet kopplades istället prototypen till ett spänningsaggregat för att testa vattenproduktionsförmågan i några timmar.

4

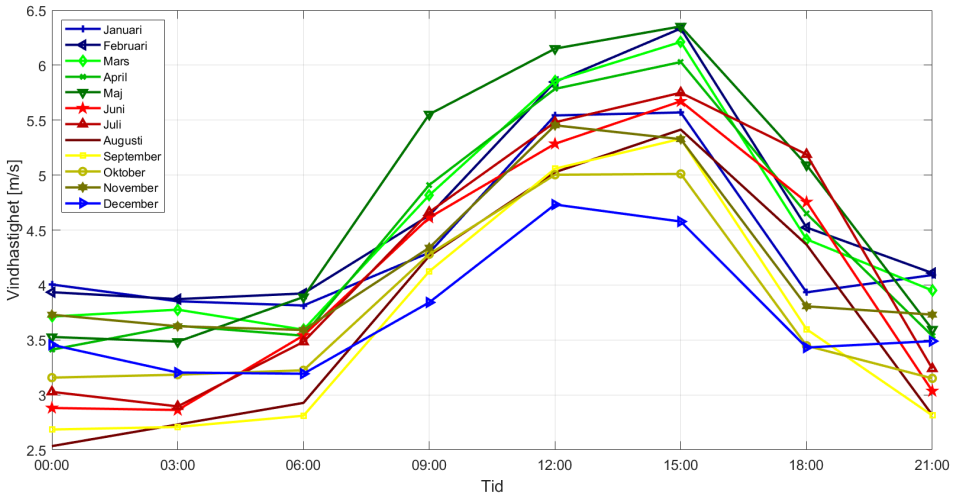
Resultat

I följande kapitel presenteras resultaten gällande vilka väderförutsättningar som finns för prototypen, hur den utvecklade effekten påverkas av dem samt hur vädret i sin tur gav resultat för batterikapacitet och drifttid. I kapitlet presenteras även prototypens vattenproduktionsförmåga.

4.1 Väderförhållanden

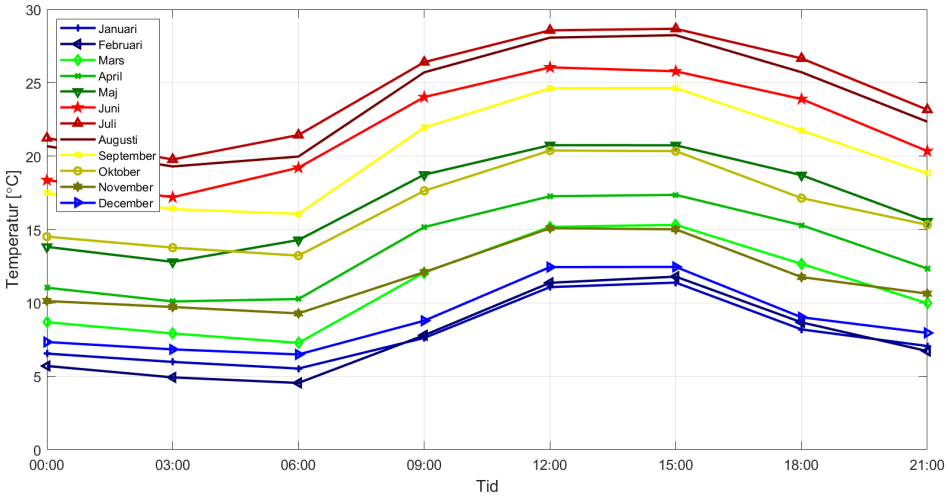
I följande avsnitt presenteras resultatet av väderanalysen beskriven i 3.10.

Figur 4.1 visar hur vindhastigheten varierar under en dag för olika månader om värdena skulle vara medelvärdet av all data för varje tidpunkt. I och med vindens variation så är den enda egentliga slutsatsen som kan dras att det generellt är blåsigare dagtid.

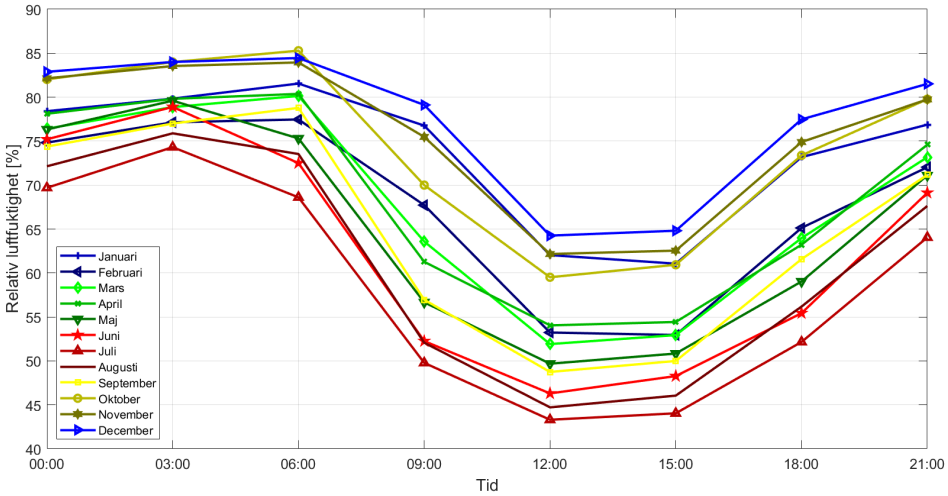


Figur 4.1: Uppskattning av hur vindhastigheten varierar under ett dygn för olika månader. Uppskattningen är baserad på medelvärdet för enskild tidpunkt tillhörande de olika månaderna. Vindhastigheten kan ses vara högre under dagen än under natten.

I figur 4.2 visas medeltemperaturen under ett dygn för årets olika månader. En cyklisk variation mellan månaderna kan avläsas med juli som varmaste månaden och januari samt februari som kallast samt att temperaturen oavsett månad alltid når sin topp under eftermiddagen.



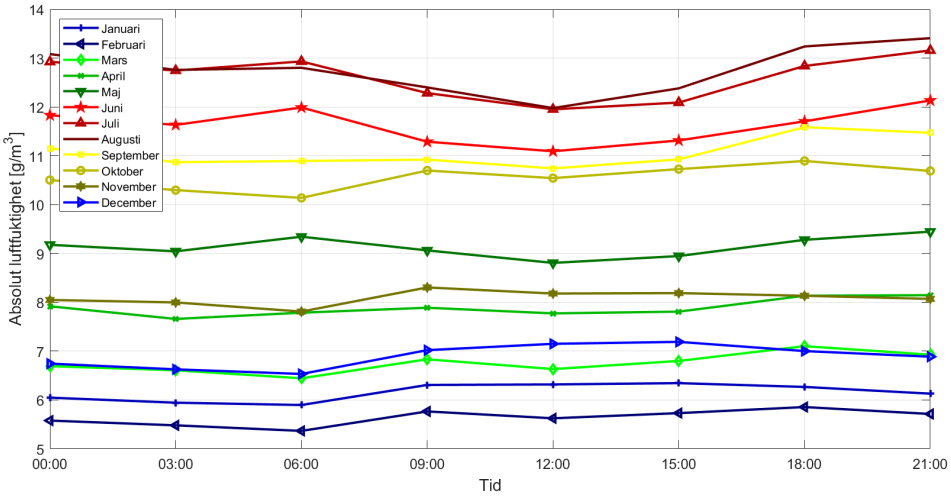
Figur 4.2: Uppskattning över hur temperaturen varierar under ett dygn för olika månader. Uppskattningen är baserad på medelvärdet för enskild tidpunkt tillhörande de olika månaderna. Temperaturen varierar cykliskt och når sin topp under eftermiddagen.



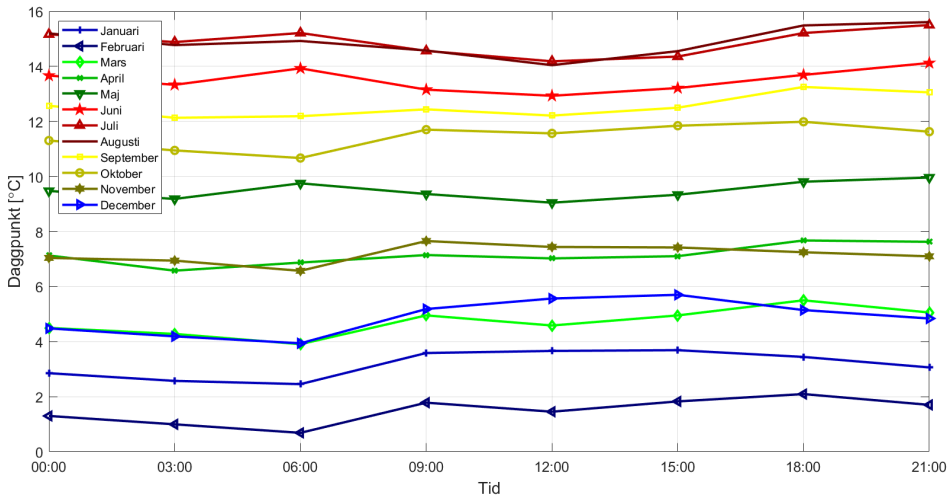
Figur 4.3: Uppskattning över hur den relativa luftfuktigheten varierar under ett dygn för olika månader. Uppskattningen är baserad på medelvärdet för enskild tidpunkt tillhörande de olika månaderna. En tydlig korrelation kan ses till temperaturens varierande.

Figur 4.3 visar variationerna av den relativa luftfuktigheten. Den följer ett mönster tvärtemot kurvorna för temperaturen. Som beskrivits i avsnitt 2.4.2, möjliggör högre temperaturen ett högre vatteninnehåll i luften och därför minskar den relativa

luftfuktigheten vid högre temperatur då vattenmängden fortfarande är samma. Att vattenmängden inte varierar kan ses i figur 4.4 där värdena på den absoluta luftfuktigheten inte skiljer sig märkvärt under dagen. Figur 4.4 visar en uppskattning av den absoluta luftfuktighetens varierande under ett dygn för olika månader på året. Värderna är beräknade utifrån ekvation (2.4) med medelvärdesbildning av data för olika tidpunkter under olika månader. Vatteninnehållet i luften, alltså den absoluta luftfuktigheten, ändras inte markant under dygnet utan ligger på en relativt konstant nivå.



Figur 4.4: Representation av medelvärdesbildning av beräknade data över absoluta luftfuktigheten sett till månad och tidpunkt. En slutsats som kan dras är att nivåerna är relativt konstanta.

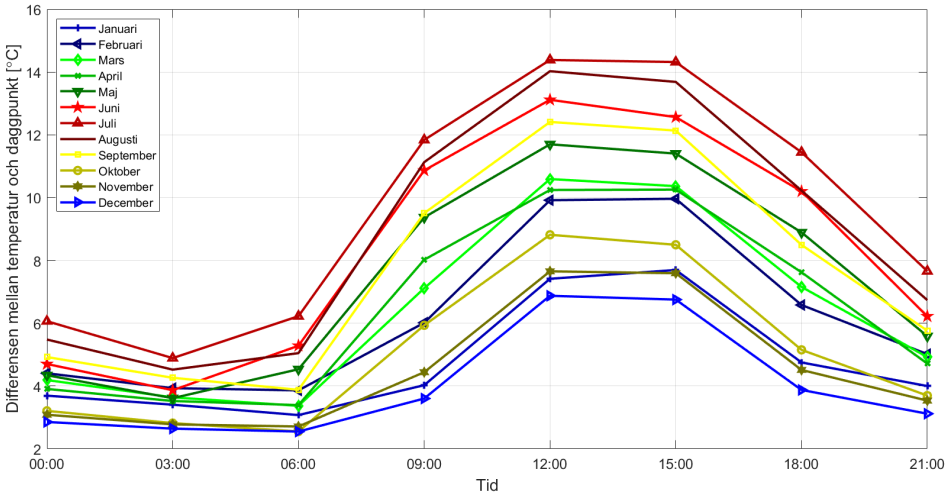


Figur 4.5: Representation av medelvärdesbildning av beräknad data för daggpunkten sett till månad och tidpunkt. En slutsats som kan dras är att nivåerna är relativt konstanta.

Precis som för den absoluta luftfuktigheten är även daggpunkten relativt oförändrad

under dagen. Det beror på temperaturens och den relativa luftfuktighetens samspel vilket kan ses i ekvation (2.3), som även har använts för att beräkna fram värdena som ligger till grund för figur 4.5. Som redan observerats är den absoluta luftfuktigheten ganska oförändrad under dagen och då daggpunkten är den temperaturpunkt då luften inte längre kan hålla kvar vattnet i gasform följer det logiskt att även daggpunkten bör förbli densamma, oavsett variationerna i temperatur och relativ luftfuktighet.

En viktig observation kan göras genom att undersöka differensen (ΔT) mellan temperaturen och daggpunkten, enligt figur 4.6. I och med att den relativa luftfuktigheten är högre under natt och morgon och temperaturen är lägre blir ΔT mellan temperaturen och daggpunkten lägre under samma tidsperiod. Informationen om ΔT är ytterst relevant vid försök att utvinna vattnet ur luften då den talar om vilken temperatursänkning luften behöver genomgå för att kondens ska bildas. Prototypen måste därmed kunna klara av att sänka lufttemperaturen temperaturskillnaden, ΔT, för att överhuvudtaget kunna fungera. I figur 4.6 avläses ΔT vara betydligt lägre på natten än på dagen.

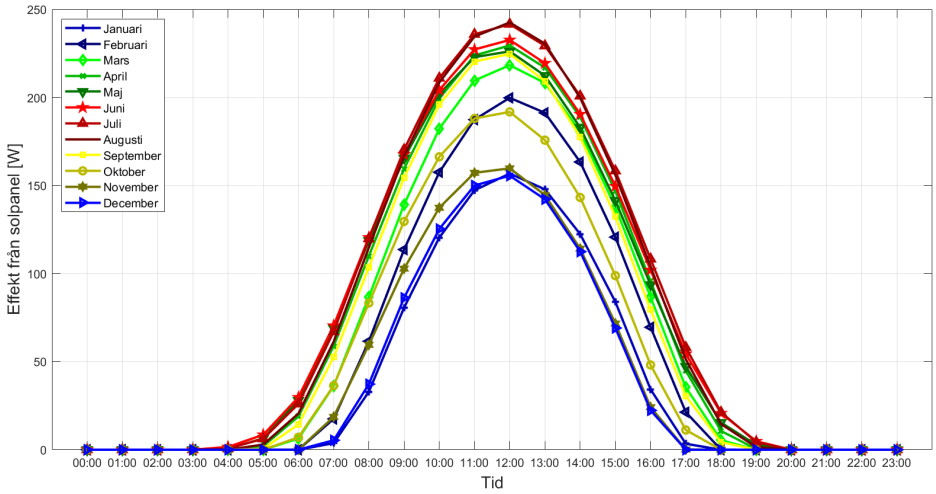


Figur 4.6: Differensen ΔT mellan medelvärdet för temperatur och daggpunkt sett till månad och tidpunkt. Figuren beskriver den nödvändiga temperatursänkningen som luften måste genomgå för att kondens ska bildas. Minsta differensen kan tydligt ses vara under natt och morgon.

4.2 Utvecklad effekt

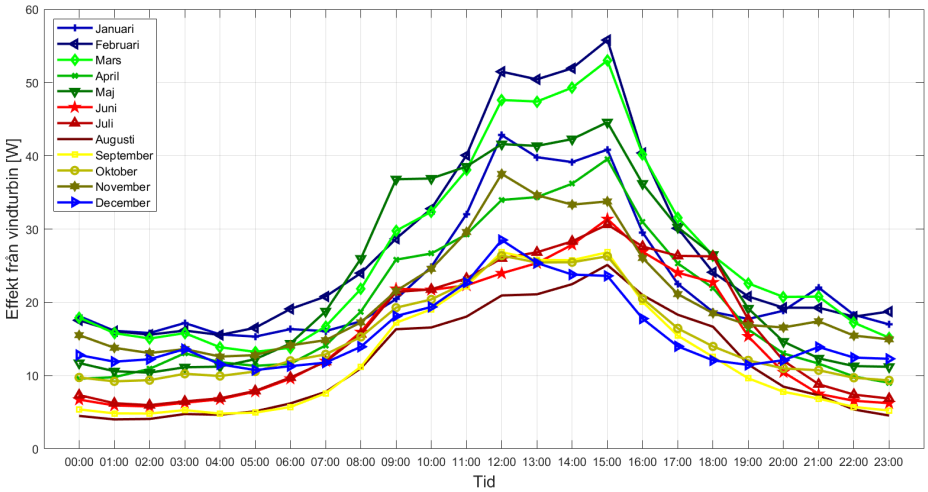
I följande avsnitt presenteras resultaten av effektanalysen beskriven i 3.11.

Figur 4.7 visar hur inkommande solenergi varierar cykliskt med årets årstider. Att effektkurvan ser ut som den gör beror delvis på solpanelens position men också på solens rörelse, i det angivna fallet leder faktorerna till att effekten är som högst vid ungefär klockan 12:00 på dagen.



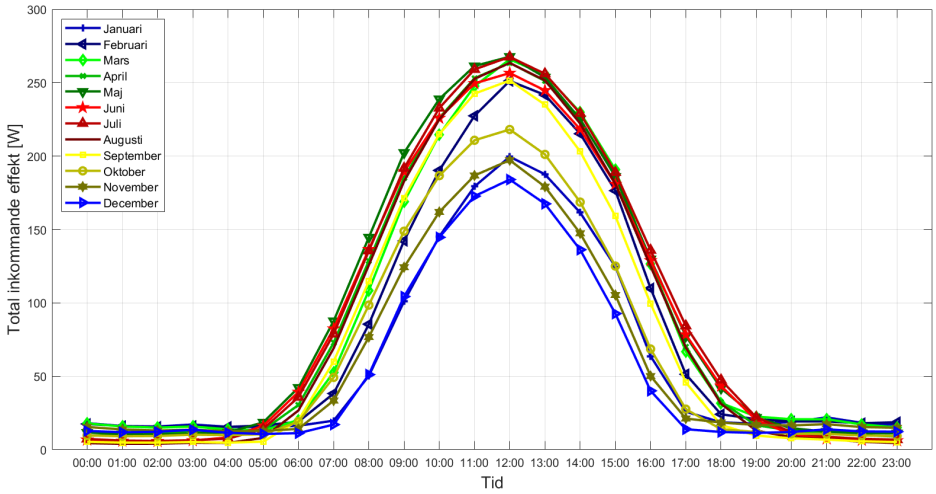
Figur 4.7: En uppskattning av hur effekten från solpanelen varierar. Uppskattningen är baserad på medelvärdet av flera års insolationsdata och slutsatsen är att effekten går cykliskt mellan årstiderna och är som högst mitt på dagen.

I figur 4.8 presenteras effekten som vindturbinen kan generera. Enligt vad som beskrivs i avsnitt 3.11.3 har många av värdena uppskattats genom att datan först har interpolerats. Det är orsaken till det ganska underliga utseendet hos vissa delar. En djupare förklaring kan ses i avsnitt 5.1.



Figur 4.8: Uppskattad effekt ifrån vindturbinen som baseras på medelvärdet av effekten under de olika månaderna och under olika tider. Det konstiga utseendet beror på att datan interpolerats för att få ut fler datapunkter. Figuren överensstämmer med figuren för vindhastighetet 4.1 med högsta värde under eftermiddagen.

Det slutliga resultatet över totalt inkommande effekt är vad som visas i figur 4.9. Värt att notera är skalorna på y-axlarna för figur 4.7 och 4.8 är mycket olika och är anledningen till att totala effekten efterliknar solenergin i stor grad.



Figur 4.9: Total inkommande effekt från båda energikällorna sett till månad och tidpunkt. Solenergin är dominerande vilket tydligt ses om de enskilda effekterna jämförs.

Arean under respektive linjegraf i figur 4.9 motsvarar producerad energin för ett dygn, E_{dygn}, och presenteras i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Tabellen visar mängden energi som vindturbinen och solpanelen kan omvandla under ett dygn för respektive månad, även benämnt som E_{dygn}.

Månad	**Energi [Wh]**		**Månad**	**Energi [Wh]**
Januari	1478,8		Juli	2248,0
Februari	1957,3		Augusti	2094,8
Mars	2161,8		September	1898,6
April	2179,9		Oktober	1638,3
Maj	2304,9		November	1477,5
Juni	2175,4		December	1280,7

4.3 Effektbehov, batterikapacitet och drifttid

Effektbehovet för prototypen ges av ekvation (3.4) där variablerna $I_{element}$ och $U_{element}$ ges av tabell A.1. Notera att genomsnittet av peltierelementens strömförbrukning användes. Effektbehovet beräknades till $P_{prototyp} = 155{,}2$ W.

Drifttiden ges av ekvation (3.5), vilket dividerar respektive värde i tabell 4.1 med effektbehovet, $P_{prototyp}$. Drifttiden för varje månad presenteras i tabell 4.2.

Tabell 4.2: Tabellen visar hur många timmar som prototypen kan drivas med den omvandlade energin för ett dygn i respektive månad.

Månad	**Drifttid [h]**		**Månad**	**Drifttid [h]**
Januari	9,5		Juli	14,5
Februari	12,6		Augusti	13,5
Mars	13,9		September	12,2
April	14,0		Oktober	10,6
Maj	14,8		November	9,5
Juni	14,0		December	8,3

Drifttiden valdes till december månads drifttid då begränsning av batterikapacitet även den är för december månad, som beskrivet i 3.12. Drifttiden, T_{drift}, är alltså 8,3 timmar. Den avrundas ner till 8 timmar på grund av felkällor såsom elektriska förluster i kablar, linjära approximationer i datahanteringen och vädrets oförutsägbara beteende som alla påverkar den verkliga effekt som kan användas. Nu när effektbehovet, $P_{prototyp}$, samt drifttiden, T_{drift}, är kända kan ekvation (3.6) och (3.7) användas för att beräkna batterikapaciteten. Batterikapaciten beräknades till $K_{verklig} = 172{,}5$ Ah.

Med utgångspunkt i avsnitt 3.13, figur 4.3 och faktumet att drifttiden T_{drift} beräknades till 8 timmar bestämdes att prototypen ska vara i drift och producera vatten mellan 22.00 - 06.00. Enligt 4.3 är luftfuktigheten som högst under den valda tiden relativt till resten av dygnet och luftfuktigheten understiger inte 65 % vid något tillfälle under den givna perioden, vilket innebär att det valda tidsintervallet ger de bästa förutsättningarna för att framställa vatten.

4.4 Vattenproduktion

Från testet beskrivet i avsnitt i 3.14 uppmättes att 4 cl vatten kunde produceras under 8 timmar, alltså producerades 0,5 cl/h. Under testet mättes omgivningstemperaturen till 20 °C samt luftfuktigheten mättes till 35 %. Under testets gång förändrades inte parametrarna märkbart. Testet utfördes dock endast med halva kapaciteten av peltierelement och kylflänsar på kylsidan, då en av kylflänsarna inte än levererats. De tre peltierelementen som användes vid testet belastades med 9,22 V och 2,61 A på respektive element, vilket resulterade i en effekt på 24,1 W per element. Den stora fläkten i testet belastades med 10,36 V och 0,43 A, vilket gav en effekt på 4,42 W. Den lilla fläkten i testet belastades med 4,94 V och 0,036 A, det resulterade i en effekt på 0,18 W. Den totala effekten var alltså 76,9 W.

Ett extra test gjordes för att försöka testa vattenproduktionen i bättre väderförhållanden. Vid testet var temperaturen 26,73 °C och den den genomsnittliga luftfuktigheten var 70,07 %. Testet utfördes i fyra timmar och 6,5 cl vatten producerades, alltså producerades 1,625 cl/h. Prototypen hade en effekt på 36 W under testet. Trots att effekten var mycket lägre än effekten i det första testet var vattenproduk-

tionen större vilket bevisar att vattenproduktionen ökar betydligt då luftfuktigheten är högre.

5

Diskussion

Genom arbetetes gång har flera olika beslut och antaganden gjorts. I följande kapitel diskuteras deras påverkan på arbetet samt även hur andra alternativ skulle gjort skillnad. Här diskuteras även resultat och eventuella åtgärder för problem samt optimeringsmöjligheter.

5.1 Hantering av väderdata

Som beskrivet i avsnitt 3.10 och 3.11 anpassades väderdatan för att kunna användas till batteriberäkningen. Datan för vindhastighet och temperaturen interpolerades eftersom det var 3 timmar mellan varje datapunkt. Det gjordes genom en linjär approximation. På liknande sätt interpolerades strålningsintensiteten för att få en matris med data som presenteras i rätt form, det beskrivs även i avsnitt 3.11.2. Approximationerna leder till viss osäkerhet i datan som användes för att bestämma effektutvinningen. Orsaken till att interpoleringen av vind- och temperaturdatan gjordes i annorlunda ordning jämfört med soldatan var för att de saknade värdena påverkar medelvärdet. Därför ansågs det bättre att göra interpoleringen mellan varje datapunkt istället för mellan medelvärdena.

Orsaken till det underliga utseendet på linjegraferna i figur 4.8 beror på interpoleringen. Logiskt sett skulle det kunna tänkas att kurvorna borde följa ett mönster enligt en tredjegradskurva, så är dock inte alltid fallet och det beror på att beroende på hur stor skillnaden mellan datapunkerna som interpoleras är skillnaden olika stor för de nya punkterna. När de sen används i ekvation (3.2) är storleken väldigt avgörande för hur stort effektvärdet blir då det tas i kubik. Medelvärdesbildningen gör sen att allt jämnas ut och att spikarna inte blir lika tydliga.

Approximationer i datahantering och allmän diskret datahantering i digitala verktyg är därför två felkällor som påverkar resultaten kring effekt, batteri och drifttider. Ovannämnda felkällor ger dock olika stora fel för vindhastighet, temperatur och strålningsintensitet. I en jämförelse mellan vindturbinens utvecklade effekt (figur 4.8) och solpanelens utvecklade effekt (figur 4.7) syns skillnaden mellan dem markant. Slutsatsen av jämförelsen är att approximationen för vindhastigheten ger procentuellt större fel än approximationen för strålningsintensiteten. Det kan va-

ra på grund av att vindhastighet- och temperaturdatan (som användes i ekvation (3.2) för att beräkna vindturbinens utvecklade effekt) fanns med datapunkter för var tredje timme, medan solintensiteten (som användes för att beräkna solpanelens utvecklade effekt) fanns med datapunkter för varje timme.

Sammanfattningsvis gäller att felet för utvecklad effekt från vindturbinen är större än felet för utvecklad effekt från solpanelen. Den större osäkerheten i vindturbinens utvecklade effekt påverkar dock väldigt lite då den större delen av den totala effekten kommer från solpanelen, vilket kan ses i figur 4.9.

En annan felkälla kring väderdatan och effekten är att vid analys av vind, temperatur, relativ och absolut luftfuktighet samt daggpunkt användes data tagen ifrån en väderstation lokaliserad i Béziers, vilket också beskrivs i avsnitt 3.10. Béziers är inte staden prototypen skulle bli anpassad för utan prototypen skulle bli anpassad för Gruissan, vilket är beskrivet i avsnitt 1.4. Att väderanalaysen är gjord utifrån en annan stad kan bidra till att de framtagna väder- och effektresultaten inte helt överensstämmer med vad som kan förväntas i Gruissan. Det är dock svårt att uppskatta hur mycket det skulle påverka resultaten, då väderdata för Gruissan inte är tillgänglig i samma utsträckning.

De två felkällorna nämnda ovan påverkar såklart även resultatet kring batterikapacitet och drifttid, presenterade i avsnitt 4.3, eftersom de är beräknade utifrån resultaten kring väder samt den utvecklade effekt för både solpanelen och vindturbinen.

5.2 Vattenproduktion

I avsnitt 4.4 beskrivs prototypens vattenproduktion. Om resultatet jämförs med tabell 2.1, som beskriver vattenbehovet, märks en markant skillnad på vattenbehovsmängden och vattenmängden som prototypen kan utvinna.

Den ganska låga vattenproduktionen kan ha flera bakomliggande orsaker. En avgörande faktor är luftfuktigheten. Som beskrivet i avsnitt 1.4 är prototypen anpassad för klimatet i Frankrike, vilket ger helt andra förutsättningar än klimatet den blev testad i. Luftfuktigheten i Frankrike, som presenteras i figur 4.3, är ofta nästan dubbelt så stor som den var under ett av testerna som beskrivs i 4.4. Det är inte bara luftfuktigheten som skulle vara annorlunda. I Frankrike är även temperaturen högre, vilket även betyder det kan finnas mer vatten i luften (den absoluta luftfuktigheten, vilket visas i figur 4.4) och på så sätt kan mer vatten utvinnas. Med väderförhållandena i åtanke kan vattenproduktionen förväntas öka och vara mer gynnsam om testet genomfördes i Frankrike, eller i en kontrollerad miljö där klimatet skulle kunna imiteras utefter Frankrikes.

Ytterligare en väsentlig faktor till den låga vattenproduktionen är antalet kylflänsar som vattnet kunde kondensera på. Enligt avsnitt 3.1 är prototypen designad att ha två kylflänsar på kylsidan med sex peltierelement. Men som nämns i 4.4 så var den

ena kylflänsen inte än levererad då testet genomfördes, vilket innebar att endast halva kapaciteten användes vid testet då endast en kylfläns och tre element var monterade. Om hela kapaciteten skulle användas kan vattenproduktionen förväntas öka.

5.3 Prototypens design och funktion

Det finns en del reflektioner kring prototypens funktion och design. De presenterade funktion- och designparametrarna skulle kunna påverka vattenproduktionen och även resultatet för den, beskrivet i avsnitt 4.4.

Som beskrivet i avsnitt 3.6 valdes en kylfläns med runda pinnar till kylsidan. Under processen när prestandan av kylflänsar testades ansågs att en kantig kylfläns på kylsidan inte presterade tillräckligt bra, då ingen kondens skapades under testet. I senare skede inses att kondensen kanske inte bildats på grund av att peltierelementen och kylflänsarna på värmesidan presterade alldeles för dåligt. Därför är det oklart om en kylfläns med runda pinnar verkligen är bättre. Ett annat argument som stödjer den teorin är att en kylfläns med runda spikar egentligen har mindre yta än en kantig kylfläns och skapar därför mindre yta för vattenånga att kondensera på.

En annan faktor som kan ha påverkat vattenproduktionen är peltierelementen. Under projektets gång har peltierelementen uppfört sig opålitligt och osäkerhet, vilket även kan ses i bilaga A. Vad som även uppmärksammats vid tester är att elementens verkningsgrad avtar vid maxspänning. De är även väldigt sköra och orobusta, så flera element har slutat fungera och behövts bytas ut. Peltierelementen som valdes till projektet beskrivs i avsnitt 3.3 och var ett relativ billigt element. Möjligtvis hade ett annat, ofta betydligt dyrare, peltierelement varit ett bättre alternativ, då det förhoppningsvis hade varit av bättre och robustare kvalitet samt varit mer tillförlitligt. En av avgränsningarna som beskrivs i avsnitt 1.4 var dock att inte undersöka komponenters hållbarhet, men om det hade gjorts hade möjligtvis bättre peltierelement valts och de skulle kunnat inducera en ännu kallare yta på kylflänsen och därav kunna kondensera mer vatten. Om elementen hade haft bättre verkningsgrad skulle även prototypen som helhelt utnyttja energin effektivare.

Ett annat problem som uppdagades, men som aldrig upplevdes praktiskt, är hur prototypen skulle fungera då luftfuktigheten och/eller temperaturen är mycket låg. Vid de väderförhållandena skulle daggpunkten vara under noll grader. Figur 4.5 visar att medelvärdet för daggpunkten ligger nära noll grader i december månad och då det observerats negativa värden i rådatan är det säkert att det beskrivna scenariot inträffar vissa tidpunkter. Då daggpunkten är mindre än noll grader betyder det att kylflänsen där vattnet ska kondensera ska vara under noll grader. Konsekvensen är att det hade bildats is på kylflänsen.

Problemet hade kunnat lösas med en automatisk styrning som beskrivits i 5.5. Då skulle prototypen kunna programmeras så den reglerar peltierelementens temperatur

i intervaller, på så sätt att den alternerar mellan att kondensera vatten (då is bildas på kylflänsen) och smälta isen. I verkligheten hade det nog fungerat ganska dåligt och vattenproduktionen hade varit låg. Antaligen hade det varit en ganska svår process att reglera och när peltierelementen ökat i temperatur för att smälta isen hade nog mycket av vattnet avdunstat igen.

En annan intressant reflektion är verkningsgraden på prototypens vattenutvinning. Verkningsgraden kan fås genom att ta den totala mängen luft som passerar genom prototypens kondenseringsutrymme, multiplicera den med absolut luftfuktighet per kubikmeter för att få maximalt möjlig mängd vatten. Dela sedan den faktiska mängden kondenserat vatten med maximalt möjlig mängd vatten. För att sätta verkningsgraden i perspektiv så görs en jämförelse med en luftavfuktare som använder sig av samma teknik samt en som använder sig av en kompressordriven teknik, informationen om de två är hämtade från källa [41].

- Trotec TTP10E, 40 W, Verkningsgrad = 5,2 % vid 30 ° C & RH = 80 %
- Trotec TTK24E, 190 W, Verkningsgrad = 14,8 % vid 30 ° C & RH = 80 %
- Prototyp, 36 W, Verkningsgrad = 6,1 % vid 26,73 ° C & RH = 70,07 %

Prototypens verkningsgrad är i jämförelse med TTP10E lite högre men ändå relativt likvärdiga. Det är inte helt oväntat då de baseras på samma teknik och jobbar på ungefär samma effekt. Ställt mot TTK24E så är verkningsgraden relativt dålig. Anledningen till det kan vara att tekniken som används är helt annorlunda och att energiförbrukningen är mycket större. En annan parameter som kan inverka stark på verkingsgraden är att den relativa luftfuktigheten är ca 10 % högre vid mätpunkterna för TTP10E och TTK24E.

5.4 Styrning och reglering

Designen av styrningen för fläktarna, som beskrivs i avsnitt 3.2, orsakade att deras fulla kapacitet inte kunde utnyttjas, på grund av att det blir ett spänningsfall över transistorn. Då batterispänningen har ett maxvärde på 12 V, som fläktarna är gjorda för, leder spänningsfallet till att de aldrig når full kapacitet. För den lilla fläkten är det inte ett problem då den maximala hastigheten ändå troligtvis inte är den optimala eftersom luften då inte får tillräckligt med tid att kylas. Gällande den stora fläkten så skulle det kunna påverka vattenproduktionen negativt då en sämre kylning av värmeflänsen skulle kunna vara en konsekvens. Regleringen ger dock en möjlighet till att ställa in den mest energisnåla fläkthastigheten.

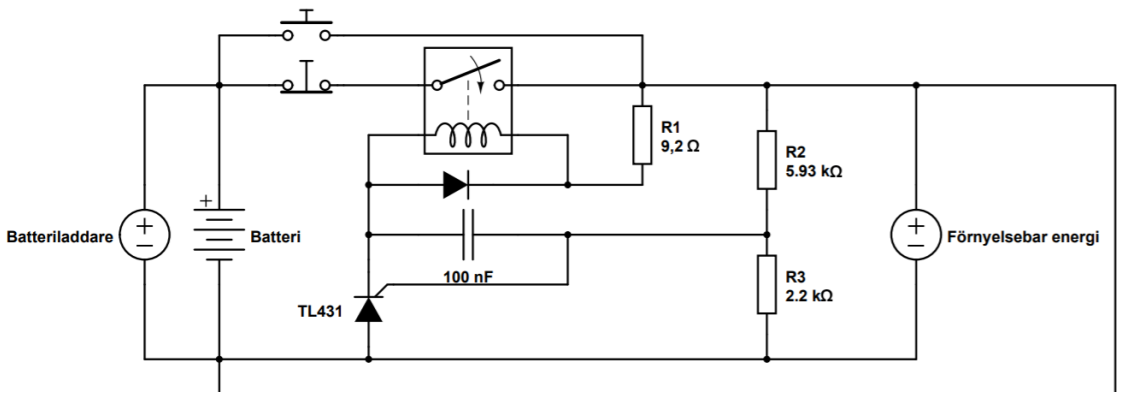
Vid design av urladdningsskyddet för batteriet, som också beskrivs i 3.2, så var en utmaning att inte överbelasta TL431 med en för stor ström. Reläspolen har en resistans på 90 Ω som vid 12 V ger en ström på 133 mA. Strömmen är för högt enligt specifikation för TL431 som anger en maxström på 100 mA. Resistansen R1 i figur 3.4 var dock också tvungen att dimensioneras så att tillräckligt med ström

gick igenom reläet då batterispänningen var vid gränsen till att bryta kretsen. Resistansen visade sig vara ett problem när en krets med teoretiska värden testades, då den teoretiska resistansen på R1 var för hög. TL431 fungerade som den skulle och både bröt och öppnades vid rätt spänning, men då R1 var för stor gick det en för liten ström genom spolen och brytaren stängdes därför inte. Den slutliga resistansen som experimenterades fram åstadkom dock både att brytningen fungerade som önskat och att strömmen genom TL431 inte översteg 100 mA. Orsaken till den lägre strömmen är oklar men skulle kunna bero på att det fanns inre resistans i kretsen eller att något annat fenomen spelade in som begränsade strömmen, då troligtvis i TL431.

Något som skedde i slutskedet av projektet var att istället för de planerade litiumjonbatterierna som projektet var anpassat till försågs prototypen med blybatterier. Blybatterierna påverkade egentligen inte projektet i någon större skala då alla tester kan göras med en annan spänningskälla. På grund av batteriskiftet var urladdningsskyddet tvunget att anpassas efter en annan spänningskurva, ett annat lägsta värde var det som sattes in ekvation (3.1) för $V_{batteri}$. Något som kan påverka negativt är att spänningskurvan för den andra batteritypen är sämre anpassad till DC/DC-omvandlingen. En mer avtagande spänningskurva gör att spänningsvärdet till peltierelementen och till fläktarna blir lägre vid större urladdningsgrad, vilket kan påverka resultatet märkvärt.

Enligt figur 3.4 och som står beskrivet i avsnitt 3.2 inkluderas en batteriladdare i symbolen energikällor. Vid användning märktes att den inte kunde driva alla peltierelementen och då inte heller ladda batteriet på grund av att märkströmmen var för låg. Problemet skulle kunna åtgärdas antingen genom att en större batteriladdare införskaffas eller genom att batteriladdaren flyttas över till batterisidan av urladdningsskyddet. Om den första lösningen implementeras så skulle dock prototypen vara aktiv samtidigt som batterierna laddas.

En annan lösning som möjliggör alla funktioner och som därmed nog är bäst, är om laddaren sitter på batterisidan med en brytare som dras upp ur aluminiumplattan och tillåter manuell stängning av urladdningsskyddet. Om batterispänningen är under urladdningsskyddets gräns och energikällorna inte förser någon energi skulle reläet vara öppet (med öppet menas att reläet inte är ledande). När laddaren kopplas in påverkas endast batteriet. Övriga kretsen drar ingen effekt och då hade batterierna kunnat laddats långsamt. Om det är önskvärt att aktivera prototypen är det bara att aktivera brytaren vilken då låter en momentanström gå från batteriet genom brytaren till spolen, som då stänger reläbrytaren och som sedan låter batteriet på egen hand hålla brytaren stängd. Det enda negativa med lösningen är att det skulle kräva en koppling från en brytare ovanför väskutrymmet ner till kretsen. Om kablar ändå drogs upp skulle en mer avancerad lösning kunna göras där det även var möjligt att koppla från batterispänningen. Då skulle inte batterierna behöva laddas ur för att prototypen skulle stängas av. En lösning skulle kunna se ut som kretsne i figur 5.1.



Figur 5.1: Lösning för kontroll av prototypen. En brytare för att öppna reläet om batteriet laddats och en för att koppla från batteriet om det driver reläet.

Ett problem som märktes när prototypen skulle testas med DC/DC-omvandlarna var att de inte klarade av värmeutvecklingen. Enligt produktspecifikationen så skulle de klara av den använda effekten men de bröt då värmen steg över en viss gräns. Kyltejpen som kom med produkten byttes ut mot kylpasta men hann inte testas. För att åtgärda problemet skulle förmodligen andra kylflänsar eller en liten fläkt behöva monteras.

5.5 Automatisk styrning

Ett optimeringsförslag till prototypen är att implementera automatisk styrning, genom en mikrodator med tillhörande sensorer. I arbetet blev resurserna för små för att kunna genomföra en automatisering. En automatisering skulle kunna förverkliga en mer utvecklad och lite mer sofistikerad prototyp som även skulle vara mer användbar i verkligheten, speciellt i ett större sammanhang.

Med en mikrodator är många olika funktioner möjliga. Passande funktioner skulle kunna vara styrning av element och fläktar, mätning av vatten samt trådlös kommunikation. Ovannämnda funktioner skulle möjliggöra automatiskt reglering av prototypens drift och energibehov. Det skulle gå att trådlöst kommunicera med prototypen och exempelvis manuellt reglera driften alternativt se vart prototypen finns och hur mycket vatten som finns tillgängligt. Det två sistnämnda skulle vara extremt användbart om prototypen skulle implementeras till att utvecklas till vattenstationer runt omkring vandringsleder.

5.6 Vattenkvalitet

Som beskrivet i avsnitt 2.8 är de vattenkvalitetstester som indikerar värdefulla parametrar angående vattnets konsumptionsduglighet väldigt dyra. De billigare testerna anses inte ge någon värdefull information för projektet, då ovannämnda parametrar inte säger något om vattnets konsumptionsdugligt. Därav finns inget resultat

angående vattnets kvalitet.

Även om vattnet skulle bli testat skulle det ändå vara komplikationer kring vattenkvaliteten. Som beskrivet i avsnitt 2.8 bör brunnsvatten testas varje gång en förändring i miljön sker. Då prototypen är mobil och vattnenkvaliteten beror på den omgivande luften och miljön skulle vattnet behöva testas varje gång luftförhållandet eller miljön förändrades.

Det går dock att resonera om vattenkvaliteten utan att testa den. Om vatten skulle utvinnas brevid en hårt trafikerad väg skulle nog inte vattnetkvalitet vara så bra, däremot om prototypen användes ute i en skog långt från städer eller andra föroreningskällor skulle nog vattenkvaliteten vara mycket bättre.

Krav på vattenkvalitet kan också variera beroende på hur ofta och hur mycket vatten som ska konsumeras eller om vattnet har något annat användningsområde exempelvis till hygien. Om vattnet ska konsumeras dagligen är kvalitén på vattnet mycket viktigt, då mycket av vattnet skulle konsumeras är det viktigt att vattnets mineraler är balasanerade och inga eller mycket låga halter av gifta grundämnen bör finnas i vattnet. Å andra sidan om vattnet endast ska användas till hygien är vattenkvaliten inte lika viktig.

Vattenkvaliteten skulle också kunna förbättras om designen på prototypen var annorlunda. Om det exempelvis fanns en pump i vattentanken som cirkulerade det producerade vattnet skulle smuts och bakterier inte kunna gro lika lätt i tanken och göra vattnet dåligt. Vattentanken sitter fast i prototypen, men som beskrivet i avsnitt 2.7.1 blir inte vattnet dåligt lika snabbt om vattentanken är riktigt ren. Därför skulle en optimerad prototyp kunna ha en löstagbar tank, så den kan diskas och hållas ren. Ytterligare en åtgärd som nog hade förbättrat vattenkvaliten diskuteras i avsnitt 5.7.

En annan faktor som kan påverka vattenkvaliteten är akryllimmet, beskrivet i 3.9. Limmet som är använt till kåporna är skadligt för människan när det inte har stelnat. Hälsoeffekterna när limmet har härdat är inte undersökt. Vattnet rekommenderas därför inte att drickas innan det filtrerats ordentligt. För att undvika problem med akryllimmet kan kåporna vakuumpressas, byggas i metall eller byggas med en annan metod för ihopmontering av plasten. De nämnda metoderna användes inte då det inte fanns möjlighet eller var allt för komplicerat.

Det finns en lösning som gör att vattnet fortfarande går att dricka även om det är kontaminerat och kvaliteten är dålig. Det är ett sugrör med filter som kallas “LifeStraw”. Enligt producentens hemsida tar sugröret bort bakterier, parasiter och mikroplaster [42]. Produkten är menad att användas i vattendrag med smutsigt vatten och skulle kunna användas till att konsumera prototypens producerade vatten oavsett hur kontaminerat det skulle vara.

5.7 Filter

När projektet planerades var planen att installera ett luftfilter framför den lilla fläkten. Filtret skulle användas för att filtrera flödet av luft in till kylsidan av aluminiumplattan. Troligtvis skulle renare flöde av luft resultera i både renare och mindre kontaminerat vatten.

I avsnitt 2.6.1 presenterades olika sorters luftfilter. Utifrån informationen som presenterades valdes filtret Akasa GRM40-30 med storleken 40 · 40 mm. Luftfiltret är skapat för att filtrera bort större partiklar såsom damm. Filter skulle som sagt ha placerats framför den lilla fläkten vars placering beskrivs i avsnitt 3.1. Filter kan då och då behövas bytas ut, vilket beskrivs i avsnitt 5.7. En fördel med placeringen på filtret är att det enkelt kan bytas ut och rengöras, utan några krav på nedmontering.

Vid installation av luftfilter kunde det dock noteras att luftflödet ifrån den lilla fläkten minskade drastiskt vid installationen. På grund av det kunde därför det angivna luftfiltret inte installeras, då det skulle resultera i att lufttrycket till kylsidan av aluminiumplattan hade blivit för svagt. Ett för svagt lufttryck hade resulterat i att vattenproduktionen hade minskat, då tillförslen av ny fuktig luft hade varit väldigt låg. På grund av det uteslöts filtret i den slutliga prototypen.

Idealt hade som sagt varit att använda luftfilter, men då hade en starkare fläkt behövts införskaffas. För att förbättra vattenkvaliten hos prototypen ytterligare skulle fler filter, alternativt filter av bättre kvalité användas, exempelvis ett HEPA-filter som beskrivs i 2.6.1. Även någon sorts vattenfilter rekommenderas att installeras för en framtida utveckling av prototypen. Tidigt i projektet valdes att inte ha ett vattenfilter, då installation av vattenfilter skulle krävt resurser som inte fanns. Om ett vattenfilter skulle använts hade ett kolfilter passat bra. Som beskrivet i avsnitt 2.6.2 reducerar kolfilter föroreningar och förbättrar även smaken på vattnet.

5.8 Felkällor vid val av den lilla fläkt

När den lilla fläkten valdes gjordes beräkningar som inte representerar verkligheten. I beräkningarna, som finns i avsnitt 3.7.1, är det räknat med att verkningsgraden är 100 % det vill säga att allt vatten utvinns ur den luft som passerar genom prototypen. När tester gjordes sågs det ganska snabbt att det inte var fallet. Den verkliga verkningsgraden är inte helt bestämd då inte tillräckligt många tester är gjorda men den uppskattas ligga runt 6,1 % vilket är betydligt lägre än 100 %. Fläkten borde alltså ha ett betydligt större flöde för att tillfredsställa den önskade dagliga vattenmängden, men då väskan gjorde att platsen för fläkten var begränsad blev fläkten liten och en liten fläkt ger ett litet flöde. För att göra en förbättring behöver designen förändras för att ge plats för en större fläkt med större flöde.

5.9 Etik och samhällspåverkan

En av avgränsningarna i projektet, som beskrivs i avsnitt 1.4, var att fokus skulle vara på prototypens funktion och hållbarheten för prototypen och komponenterna var något sekundärt. Avgränsningen gjordes för att arbetet med hållbarhet skulle försvåra konstruktionen av prototypen väldigt mycket. Det finns flera olika typer av hållbarhet, exempelvis social hållbarhet och miljömässig hållbarhet.

Prototypen som helheltsidé är något som är etisk försvarbart då den ger stor möjlighet för ökad livskvalitet för många. Prototypens olika komponenter kan ifrågasättas när det kommer till hållbarhet och etik. För att få en helhetsbild krävs dock en mycket komplex livscykelanalys. Det är inte gjort, men det finns en del saker som en sådan livscykelanalys skulle kunna undersöka.

En livscykelanalys skulle exempelvis undersöka hur komponenterna tillverkas och vilket material de tillverkas av samt vart råmaterialet kommer ifrån. För att komponenterna som används i projektet ska vara moraliskt försvarbara så bör tillverkningen och materialet i sig vara miljösmarta. Utöver det så ska arbetarna som utvinner materialet och som tillverkar komponenterna arbeta under socialt hållbara arbetsförhållanden.

Livscykelanalysen skulle även kunna täcka hur hållbar prototypen är och jämnföra livslängden med förbrukade resurser och göra en vägning mellan hur gynnsam produkten är för samhället jämförelsevis med hur missgynsam den är mot miljön och klimatet.

6

Slutsats

Syftet med arbetet var att designa och konstruera en prototyp som kan utvinna vatten ifrån luft. Prototypen ska kunna drivas med en begränsad mängd förnyelsebar energi. Prototypen kan utvinna vatten och kan drivas med förnyelsebar energi. Här nedan följer kortfattade svar på frågeställningarna beskrivna i avsnitt 1.3.

Som bevisat i avsnitt 5.2 är verkningsgraden på prototypen relativt bra, även om vattenproduktionen inte är särskilt stor, vilket beskrivs i avsnitt 4.4. Som beskrivet i avsnittet producerade prototypen 0,5 cl/h. I avsnittet beskrivs även hur förutsättningarna för vattenproduktionen skulle kunna vara annorlunda och även vilka utvecklingsmöjligheter som finns, som på så sätt skulle ökat den producerade vattenmängden.

Enligt resultatet i avsnitt 4.3 uppskattas effektbehovet för prototypen till 155,2 W. Behovet skulle kunna täckas av solpanelen och vindturbinen tillsammans med ett batteri med batterikapacitet enligt den presenterade i avsnitt 4.3. I avsnittet beskrivs även att med en drifttid på 8 timmar mellan 22.00 - 06.00 möjliggörs drift av prototypen året om.

Sammanfattningsvis fungerar prototypens konceptuella konstruktion bra, men i ett klimat där luftfuktigheten är låg är det ett ganska dåligt sätt att producera vatten på, då produktvolymen blir ganska liten.

Litteraturförteckning

[1] S Schneider, T Root och M Mastrandrea. *Encyclopedia of Climate and Weather.* Oxford University Press, 2011. ISBN: 9780199765324. DOI: 10.1093/acref/9780199765324.001.0001.

[2] N Jakhar m. fl. "Model development of refrigerator and heater based on Peltier module and Fresnel lens". I: *2016 International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE).* Dec. 2016, s. 1–4. DOI: 10.1109/ICRAIE.2016.7939500.

[3] Techopedia. *Peltier Effect.* 2015. URL: https://www.techopedia.com/definition/14765/peltier-effect (hämtad 2020-04-16).

[4] T Steinbrecher. *THE HEATSINK GUIDE: Information about heatsinks.* URL: http://www.heatsink-guide.com/ (hämtad 2020-02-26).

[5] M Nesarajah och G Frey. "Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator". I: *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society.* Okt. 2016, s. 4252–4257. DOI: 10.1109/IECON.2016.7793029.

[6] Inc Radian Thermal Products. *What is a heatsink?* URL: https://www.radianheatsinks.com/heatsink/ (hämtad 2020-02-20).

[7] Daniel Christen, Milos Stojadinovic och Juergen Biela. "Energy Efficient Heat Sink Design: Natural Versus Forced Convection Cooling". I: *IEEE Transactions on Power Electronics* 32.11 (2017), s. 8693–8704. ISSN: 08858993. DOI: 10.1109/TPEL.2016.2640454.

[8] Seri Lee. "How to Select a Heat Sink". I: *Electronics Cooling* (juli 2019). URL: https://www.electronics-cooling.com/1995/06/how-to-select-a-heat-sink/.

[9] A Karmehed. *Applicering av kylpasta - viktigt eller smakfråga?* URL: https://www.nordichardware.se/nyheter/applicering-av-kylpasta-viktigt-eller-smakfraga.html (hämtad 2020-02-20).

[10] I Wallossek. *Thermal Paste Round-up: 85 Products Tested.* URL: https://www.tomshardware.com/reviews/thermal-paste-comparison,5108.html (hämtad 2020-02-25).

[11] I Wallossek. *Thermal Paste Comparison, Part Two: 39 Products Get Tested.* URL: https://www.tomshardware.com/reviews/thermal-paste-performance-benchmark,3616-18.html (hämtad 2020-02-25).

[12] World health organization. *How much water is needed in emergencies.* URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/emergencies/qa/emergencies_qa5/en/ (hämtad 2020-03-04).

[13] O A Alduchov och R E Eskridge. ”Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure”. I: *Journal of Applied Meteorology* 35.4 (1996), s. 601–609.

[14] M G Lawrence. ”The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications”. I: *Bulletin of the American Meteorological Society* 86.2 (2005), s. 225–233. URL: www.scopus.com.

[15] SMHI. *Luftfuktighet.* URL: https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910 (hämtad 2020-03-02).

[16] Sensirion. *Introduction to Humidity: Basic Principles on Physics of Water Vapor.* URL: https://www.sos.sk/a_info/resource/c/sensirion/Sensirion_Introduction_to_Relative_Humidity_V2.pdf (hämtad 2020-03-24).

[17] NREL. *Solar Resource Glossary.* URL: https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/solar-glossary.html (hämtad 2020-02-25).

[18] A Das m. fl. ”Vertical axis and horizontal axis wind turbine- A comprehensive review”. I: *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS).* Aug. 2017, s. 2660–2669. DOI: 10.1109/ICECDS.2017.8389937.

[19] Z Zhao m. fl. ”Research on the improvement of the performance of savonius rotor based on numerical study”. I: *2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply.* 2009, s. 1–6.

[20] Davis air conditioning och heating. *Air Filters: Understanding Their Function and How to Choose the Right One.* URL: https://davisac.com/article/air-filters-understanding-function-choose-right-one (hämtad 2020-02-27).

[21] Air Filters Delivered. *Fiberglass Air Filters vs. Pleated Air Filters.* URL: https://www.airfiltersdelivered.com/c/pleated-vs-fiberglass-filters (hämtad 2020-02-28).

[22] P Tsai och S R Malkan. *Hepa filter.* URL: https://patentimages.storage.googleapis.com/ff/19/2e/a81304e134dfc3/US6428610.pdf.

[23] Washington University. *Water Filtration.* URL: https://www.wpi.edu/sites/default/files/inline-image/Academic-Resources/STEM-Education-Center/Water%5C%20Filtration%5C%20Background.pdf (hämtad 2020-03-03).

[24] Filter butler. *THE BASICS OF COMMON WATER FILTER TECHNOLOGIES.* URL: http://filterbutler.com/blog/the-basics-of-common-water-filter-technologies/ (hämtad 2020-03-03).

[25] Livsmedelsverket. *Dricksvatten i dunk.* URL: https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/dricksvatten/dricksvatten-i-dunk1/?AspxAutoDetectCookieSupport=1 (hämtad 2020-02-28).

[26] A Millner. "Modeling Lithium Ion battery degradation in electric vehicles". I: *2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply.* 2010, s. 349–356.

[27] E Wikner och T Thiringer. "Extending Battery Lifetime by Avoiding High SOC". I: *Applied Sciences* 8 (2018), s. 1825. DOI: 10.3390/app8101825.

[28] E Wikner. "Ageing in Commercial Li-ion Batteries: Lifetime Testing and Modelling for Electrified Vehicle Applications". Diss. Chalmers University of Technology, 2019.

[29] K Smith m. fl. "Life prediction model for grid-connected Li-ion battery energy storage system". I: *2017 American Control Conference (ACC).* 2017, s. 4062–4068.

[30] Livsmedelsverket. *Testa drickvattnet från egen brunn.* URL: https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/dricksvatten/egen-brunn/testa-brunnens-dricksvattnet (hämtad 2020-04-02).

[31] Nanuk. *NANUK by Plasticase: Waterproof, Dustproof, Rugged Professional Protective Cases - NANUK Cases.* URL: https://www.nanuk.com/.

[32] Pchbutik. *TEC1-12710 DC12V 10A Thermoelectric Peltier 40*40*3.2MM.* URL: https://pchbutik.se/nytt-pa-lager/644-nytt-pa-lager-tec1-12710-dc12v-10a-thermoelectric-peltier-404032mm-.html?search_query=peltier&results=5 (hämtad 2020-04-28).

[33] Gleid solution. *GC-PRO, Premium thermal compand.* URL: https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001606597IN01/information-1606597-gelid-gc-pro-kylpasta-7-wmk-7-g.pdf.

[34] Plexiglas. *SOLVENT ADHESIVES.* URL: https://www.plexiglas.de/en/products/acrifix/solvent-adhesives (hämtad 2020-05-08).

[35] Hans Bengtsson SMHI. *Privat kommunikation.*

[36] E Hau. *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics.* Springer, 2006. ISBN: 9783540242406.

[37] M Mahmood m. fl. "Vertical axis wind turbine – A review of various configurations and design techniques". I: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.4 (2012), s. 1926–1939. ISSN: 1364-0321. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.004. URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211100596X.

[38] European Commission. *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.* URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR (hämtad 2020-03-24).

[39] European Commission. *Väderdata.* URL: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1SEYBvSbl_N-ar7UbWPWR0TxWttryuUx2NVssAlWkgkw/edit#gid=0.

[40] European Commission. *Väderdata*. URL: https://drive.google.com/file/d/1ra40sfBrprTxCuUNNX2uEFnbimp-EZXX/view?usp=sharing.

[41] Trotec24. *Trotec24*. URL: https://www.trotec24.se/ (hämtad 2020-05-12).

[42] LifeStraw. *LifeStraw*. URL: https://www.lifestraw.com/products/lifestraw (hämtad 2020-04-06).

[43] P Brimblecombe. *Air composition \& chemistry*. Cambridge environmental chemistry series: 6. Cambridge University Press, 1996. ISBN: 0521453666.

[44] D P Gatley. *7.1.4 Derive W - The Humidity Ratio Expressed as kgWV/kgDA*. American Society of Heating, Refrigerating och Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), s. 46. ISBN: 978-1-936504-31-2.

A

Bilaga

För att få en överblick av hur de erhållna peltierelementen presterade utfördes tester vid en lika stor pålagd spänning. Det utfördes genom att koppla upp elementet till ett spänningsaggregat och sedan uppmättes den pålagda strömmen samt även temperaturen på värmesidan och kylsidan. Därefter beräknades skillnaden i temperaturen. Av totalt 10 stycken testade element, så fungerade totalt 9 stycken. Resultatet går att notera i A.1.

Element nr.	Pålagd spänning (V)	Pålagd ström (A)	Varmsidan (°C)	Kallsidan(°C)	Δ(°C)
1	8,47	2,64	20,6	-13,5	34,1
2	8,47	2,49	20,9	-9,5	30,4
3	8,47	2,63	20,5	-11,9	32,4
4	8,47	2,49	20,4	-12,0	32,4
5	8,47	2,09	21,1	-1,5	22,6
6	8,47	2,49	20,8	-8,7	29,5
7	8,47	4,31	22,0	-5,2	27,2
8	8,47	4,18	22,5	-6,2	28,7
9	8,47	4,84	22,7	-7,9	30,6

Figur A.1: Temperaturen på värmesidan, kylsidan och skillnaden i temperatur vid en lika stor spänning över elementen och den resulterande strömmen för varje.

För att beräkna och dimensionera resistanserna, R4 och R5, samt välja rätt transistorer till elektroniken, visad i figur 3.4, gjordes mätningar över de båda fläktarna som används i projektet. Resistanserna som angivs i figur A.2 är resistansen i fläkten för given spänning och ström, effekten är effekten som transistorn drar.

Stor					Liten			
Ström [A]	Spänning [V]	Resistans [Ω]	Effekt [W]		Ström [A]	Spänning [V]	Resistans [Ω]	Effekt [W]
0,11	3,53	32,09	0,93		0,02	3,28	164,00	0,17
0,13	4,05	31,15	1,03		0,03	4,09	136,33	0,24
0,15	4,49	29,93	1,13		0,04	4,58	114,50	0,30
0,17	5,04	29,65	1,18		0,04	5,65	141,25	0,25
0,19	5,61	29,53	1,21		0,05	6,82	136,40	0,26
0,21	6,12	29,14	1,23		0,06	7,68	128,00	0,26
0,24	6,69	27,88	1,27		0,07	9,23	131,86	0,19
0,25	7,05	28,20	1,24		0,08	10,08	126,00	0,15
0,3	8,14	27,13	1,16		0,08	10,75	134,38	0,10
0,35	9,12	26,06	1,01		0,09	11,88	132,00	0,01
0,38	9,68	25,47	0,88		0,09	12,03	133,67	0,00
0,43	10,53	24,49	0,63					
0,47	11,26	23,96	0,35					
0,5	11,94	23,88	0,03					

Figur A.2: Uppmätt data för fläktarna. Resistansen är den inre resistanen i fläkten för given spänning och ström. Effekten är förlusterna i transistorn.

B

Bilaga

För att kunna visa hur densiteten, $\rho(T)$, kan uppskattas i ekvation (3.2) i avsnitt 3.11.1 visas här en härledning.

Densiteten $\rho(T)$ är beroende av temperaturen och luftfuktigheten, som i sig är beroende av tiden. Dock så har luftfuktigheten en försumbar påverkan på densiteten. Det förklaras genom att först iaktta tabell B.1 som visar luftens sammansättning.

Tabell B.1: Tabell över luftens sammansättning [43].

Molekyl	**Andel i** [%]
Kväve	78,084
Syrgas	20,946
Vattenånga	0,0 - 1,0
Övriga gaser	0,0 - 1,0

Ekvationen för densitet är

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{B.1}$$

där m står för massan och V står för volymen.

Massan för torr luft med 0 % relativ luftfuktighet tas fram genom sambandet för substansmängd

$$n = \frac{m}{M} \tag{B.2}$$

där n är substansmängd, m massan och M molmassan. Massan och molmassan varierar och luftens sammansättning utgör substansmängden. Alltså blir massan för respektive fall

$$m = \sum_{i=1}^{y} M_y \cdot X_y \tag{B.3}$$

$$\sum_{i=1}^{y} X_y = 1 \tag{B.4}$$

där y står för antal molekylsorter och X står för andel av respektive molekyl. Tabell B.2 anger kemisk formel för relevanta molekyler och atommassa för alla atomer i

molekylerna. Med hjälp av den angivna tabellen tas molmassan fram för respektive extremfall.

Tabell B.2: Tabell över atommassan för alla involverade atomer och molekylmassan för alla involverade molekyler [43].

Atom	**Atommassa [u]**
Kväve N	14,0067
Syre O	15,9990
Väte H	1,0074
Molekyl	**Molekylmassa [u]**
Kvävgas N_2	28,0134
Syrgas O_2	31,9980
Vattenånga H_2O	18,0147

Massan för 1 mol torr luft tas fram genom att anta den relativa luftfuktigheten till 0 %. Den andel vattenånga som bortses nu, alltså 1 %, för torr luft jämfört med fuktig luft antas ersättas med 0,5 % kvävgas och 0,5 % syrgas eftersom de beståndsdelarna är så stora jämfört med resten av luftens sammansättning. Massan för den torra luften ges alltså genom att sätta in värdena från tabell B.2 i ekvation (B.3), enligt

$$\begin{aligned} m_{torr} = M_{kvävgas} \cdot X_{kväve} + M_{Syrgas} \cdot X_{syre} = \\ 28{,}0134 \cdot 0{,}7858 + 31{,}9980 \cdot 0{,}2144 = \\ 28{,}8733\ u \end{aligned} \tag{B.5}$$

och massan för den fuktiga luften ges av

$$\begin{aligned} m_{fuktig} = M_{kvävgas} \cdot X_{kväve} + M_{Syrgas} \cdot X_{syre} + M_{vattenånga} \cdot X_{vattenånga} = \\ 28{,}0134 \cdot 0{,}7808 + 31{,}9980 \cdot 0{,}2094 + 18{,}0147 \cdot 0{,}01 = \\ 28{,}7534\ u \end{aligned} \tag{B.6}$$

Nu är massorna för båda extremfall kända och en jämförelse kan göras. Om ekvation (B.1) skrivs om med konstant volym erhålls ekvation (B.7).

$$V = \frac{m_{torr}}{\rho_{torr}} = \frac{m_{fuktig}}{\rho_{fuktig}} \rightarrow \frac{\rho_{fuktig}}{\rho_{torr}} = \frac{m_{fuktig}}{m_{torr}} = 0{,}9958 \tag{B.7}$$

Densiteten för den fuktiga luften är alltså 0,42 % mindre än densiteten för den torra luften. Därför försummas luftfuktigheten vid beräkning av densiteten. Vidare bestämdes densiteten med hjälp av ideala gaslagen. För torr luft antas ideal gas med väldigt hög tolerans för tryck- och temperaturspektrum. För fuktig luft antas ideal gas då temperaturen sträcker sig mellan omkring -40 °C och 50 °C runt atmosfärstryck [44]. Kraven uppfylls med marginal [40]. Ideala gaslagen skrivs om på följande sätt för att slutligen få densiteten enligt

$$P_{atm} \cdot V = m \cdot R_M \cdot T(t) \rightarrow \frac{m}{V} = \rho(t) = \frac{P_{atm}}{R_M \cdot T(t)} \tag{B.8}$$

där atmosfärstrycket $P_{atm} = 101{,}325$ kPa och den specifika gaskonstanten för luft $R_M = 287{,}05$.

C

Bilaga

I följande bilaga finns produktspecifikationer för fläktarna och solpanelen som används i projektet.

I figur C.1 visas produktspecifikationen för den stora fläkten.

Series 4300 **Nominal data**	Air flow	Air flow	**Nominal voltage**	Voltage range	Sound pressure level	Sound power level	Sintec sleeve bearings Ball bearings	Power consumption	Nominal speed	Temperature range	Service life L_{10} (40 °C) ebm-papst standard Service life L_{10} (T_{max}) ebm-papst standard	Life expectancy $L_{10(IPC}$ (40 °C) see page 17	Curve
Type	**m³/h**	**cfm**	**VDC**	**VDC**	**dB(A)**	**Bel(A)**	□/■	**Watts**	**rpm⁻¹**	**°C**	**Hours**	**Hours**	
4312 GL	95	56	**12**	6...15	30	4.3	□	1.2	1 550	-20...+75	80 000 / 35 000	135 000	①
4312 L	95	56	**12**	6...15	30	4.3	■	1.2	1 550	-20...+75	80 000 / 35 000	135 000	①
4312 GM	140	82	**12**	6...15	39	5.3	□	3.1	2 300	-20...+75	70 000 / 30 000	117 500	②
4312 M	140	82	**12**	6...15	39	5.3	■	3.1	2 300	-20...+75	70 000 / 30 000	117 500	②
4312 G	170	100	**12**	6...15	45	5.8	□	5.0	2 800	-20...+70	62 500 / 30 000	105 000	③
4312	170	100	**12**	6...15	45	5.8	■	5.0	2 800	-20...+70	62 500 / 30 000	105 000	③
2-179	204	120	**12**	6...13.2	51	6.4	■	9.4	3 400	-20...+65	47 500 / 27 500	80 000	⑤
4314 L	95	56	**24**	12...28	30	4.3	■	1.2	1 550	-20...+75	80 000 / 35 000	135 000	①
4314 M	140	82	**24**	12...28	39	5.3	■	2.8	2 300	-20...+75	70 000 / 30 000	117 500	②
4314 G	170	100	**24**	12...28	45	5.8	□	4.7	2 800	-20...+75	62 500 / 27 500	105 000	③
4314	170	100	**24**	12...28	45	5.8	■	5.0	2 800	-20...+75	62 500 / 27 500	105 000	③
4314-147	180	106	**24**	12...28	47	6.1	■	4.7	3 000	-20...+75	57 500 / 25 000	80 000	④
4314-180	204	120	**24**	12...26	51	6.4	■	8.5	3 400	-20...+70	45 000 / 22 500	75 000	⑤
4318 M	140	82	**48**	36...56	39	5.3	■	3.6	2 300	-20...+75	70 000 / 30 000	117 500	②
4318	170	100	**48**	36...53	45	5.8	■	5.1	2 800	-20...+75	62 500 / 27 500	105 000	③

Subject to change

Figur C.1: Produktspecifikationen för den stora fläkten.

I figur C.2 visas produktspecifikationen för den lilla fläkten.

60×60×25mm (Mass : 110g) **IP 68** **9WP type**

Specifications The following nos. **have pulse sensors and ribs. For ribless, append "1" to the model no.**

Model No.	Rated Voltage [V]	Operating Voltage Range [V]	Rated Current [A]	Rated Input [W]	Rated Speed [min⁻¹]	Max. Airflow [m³/min]	Max. Airflow [CFM]	Max. Static Pressure [Pa]	Max. Static Pressure [inchH₂O]	SPL [dB(A)]	Operating Temperature [℃]	Expected Life [h]
9WP0612G401	12	10.2 to 13.2	0.21	2.52	5,600	0.78	27.5	87.3	0.351	39	−20 to +60	40,000/60℃
9WP0612D401		10.2 to 13.8	0.21	2.52	5,150	0.72	25	73.5	0.30	37	−20 to +70	60,000/60℃
9WP0612H401			0.11	1.32	3,800	0.53	18.7	40.2	0.161	28		
9WP0624G401	24	20.4 to 27.6	0.13	3.12	5,600	0.78	27.5	87.3	0.351	39	−20 to +60	40,000/60℃
9WP0624H401			0.06	1.44	3,800	0.53	18.7	40.2	0.161	28	−20 to +70	60,000/60℃
9WP0648H401	48	40 to 53	0.04	1.92	3,800	0.53	18.7	40.2	0.161	28		

Models without sensors, or with lock sensors, or PWM control function are available as options. Please refer to the index (pp. 481 to 482).

Figur C.2: Produktspecifikationen för den lilla fläkten.

I figur C.3 visas produktspecifikationen för solpanelen, JKM280PP-60 STC.

SPECIFICATIONS

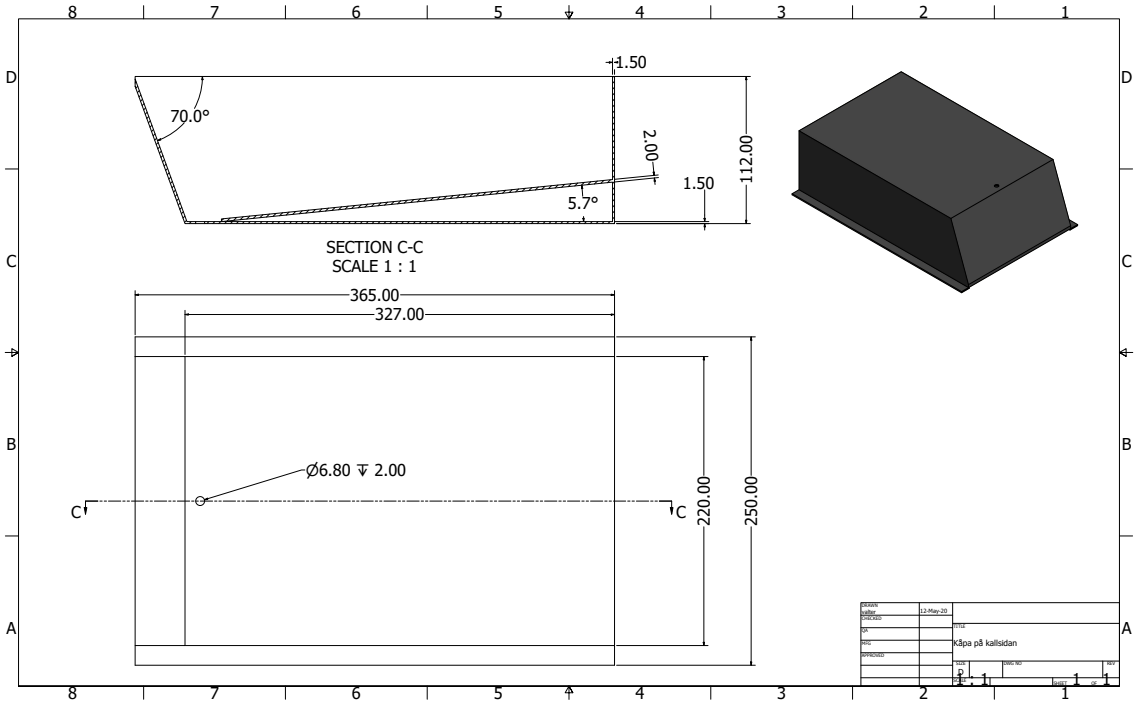
Module Type	JKM265PP-60		JKM270PP-60		JKM275PP-60		JKM280PP-60		JKM285PP-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp	275Wp	204Wp	280Wp	208Wp	285Wp	212Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V	32.0V	29.8V	32.3V	30.1V	32.5V	30.4V
Maximum Power Current (Imp)	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A	8.61A	6.85A	8.69A	6.91A	8.77A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V	39.1V	35.4V	39.4V	35.6V	39.6V	35.7V
Short-circuit Current (Isc)	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A	9.15A	7.44A	9.20A	7.99A	9.26A	8.05A
Module Efficiency STC (%)	16.19%		16.50%		16.80%		17.11%		17.41%	
Operating Temperature(℃)	-40℃~+85℃									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.38%/℃									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/℃									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/℃									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2℃									

Figur C.3: Produktspecifikationen för solpanelen. Modellen på solpanelen är JKM280PP-60 STC.

D

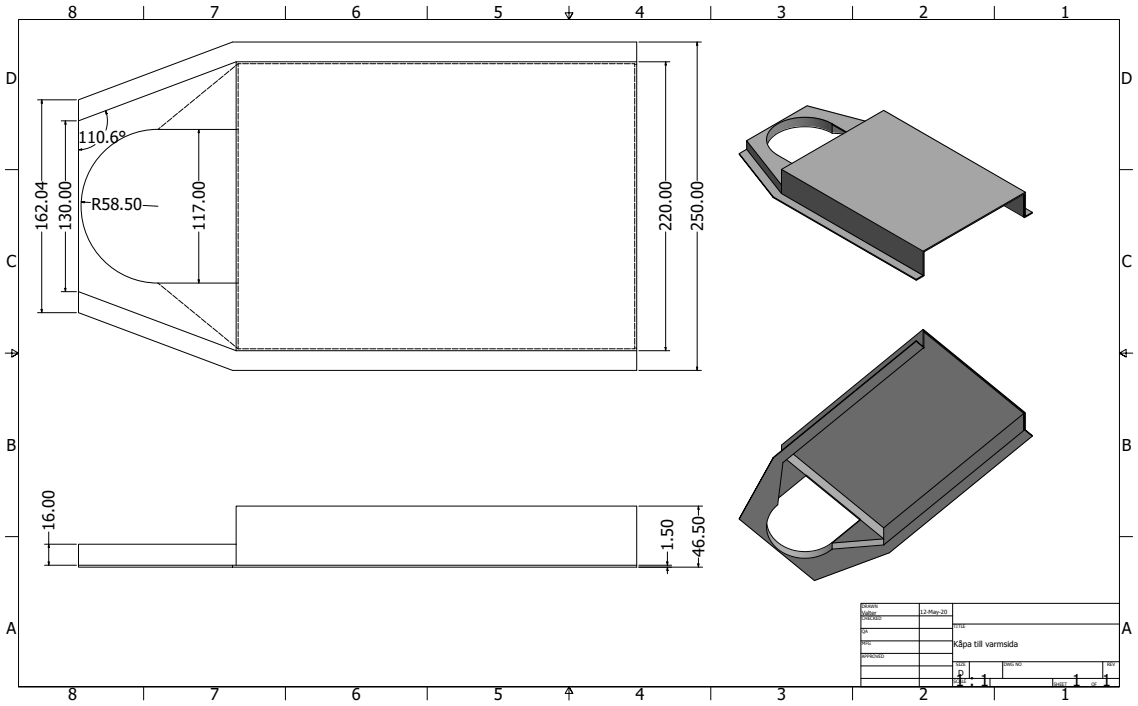
Bilaga

I figur D.1 visas ritningen på kåpan som sitter på kylsidan av aluminiumplattan.



Figur D.1: Ritning på kåpan som sitter på kylsidan av aluminiumplattan.

I figur D.2 visas ritningen på kåpan som sitter på värmesidan av aluminiumplattan.



Figur D.2: Ritning på kåpan som sitter på värmesidan av aluminiumplattan.