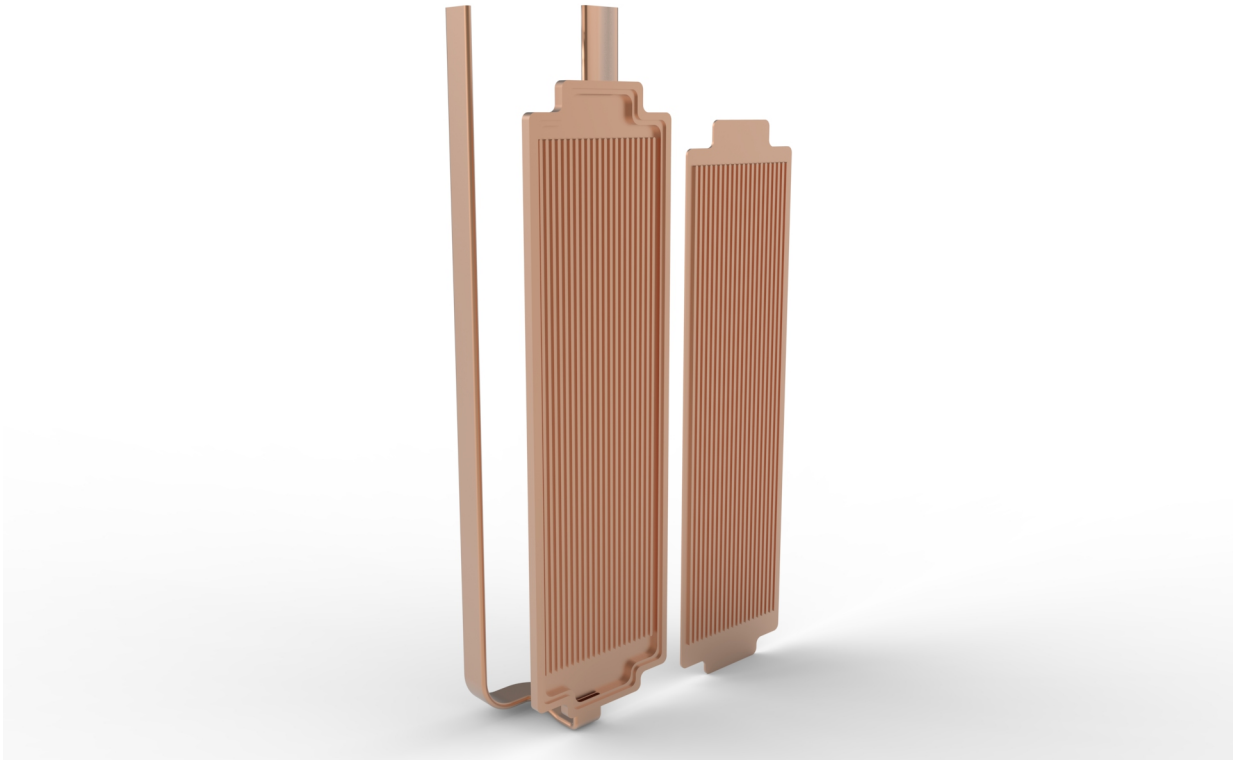




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Konceptframtagning av kylutrustning till ett litiumbatteri

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom maskinteknik

MARTIN KARLSSON
GUSTAV NILSSON BORNHALL

EXAMENSARBETE 2019:NN

Konceptframtagning av kylutrustning till ett litiumbatteri

MARTIN KARLSSON
GUSTAV NILSSON BORNHALL



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för industri- och materialvetenskap
Avdelningen för Produktutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2019

Konceptframtagning av kylutrustning till ett litiumbatteri
MARTIN KARLSSON
GUSTAV NILSSON BORNHALL

© Martin Karlsson & Gustav Nilsson Bornhall, 2019.

Handledare: Fredrik Borg, Semcon
Handledare & Examinator: Mats Alemyr, tekniklektor på avdelningen för Produktutveckling, Institutionen för industri- och materialvetenskap, Chalmers Tekniska Högskola

Examensarbete 2019:NN
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Avdelningen för Produktutveckling
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Renderad bild av det detaljkonstruerade konceptet

Typsättning gjord i L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2019

Konceptframtagning av kylutrustning till ett litiumbatteri
MARTIN KARLSSON, GUSTAV NILSSON BORNHALL
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

I denna rapport, som är skriven för Chalmers tekniska högskola och på uppdrag av Semcon, utvärderas hur en kylutrustning kan konstrueras och integreras i en av batteriföretagets batterimoduler.

Batteriföretaget specialiserar sig inom flexibel litiumbatteriteknik och erbjuder sina kunder högpresterande batterilösningar, anpassade efter kundens behov. När batterimodulerna används förbrukas den i batteriet lagrade energin, vilket medför att en laddningsprocess någon gång måste utföras av användaren. Denna laddningsprocess resulterar i en tillförsel av ström till battericellerna vilket i sin tur innebär att en värmeutveckling, på grund av resistansvärme och kemisk reaktionsvärme, uppstår i varje battericell.

Batteriföretaget vill kunna erbjuda en snabbare laddningsprocess, en så kallad snabbbladdning. För att åstadkomma detta krävs en ökning av mängden tillförd ström per tidsenhet. Denna ökning resulterar i en förhöjning av värmeutvecklingen och leder till att risken blir högre för att kritiska temperaturer ska uppnås. Problemet är att om dessa kritiska temperaturnivåer uppnås, reduceras mängden tillförd ström successivt och laddningen blir då mindre effektiv på grund av batteriets BMS-system. Även batteriets prestanda och livslängd påverkas negativt. För att lösa problemet och möjliggöra snabbbladdning, krävs det att en kylutrustning integreras i den befintliga produkten.

Baserat på bakgrunden till arbetet blev syftet att utveckla en kylutrustning till en litiumbatterimodul och därmed minimera laddningstiden genom att begränsa temperaturen i modulerna. Utvecklingen av ett helt kylsystem med kringutrustning som: pump, slangar, anslutningar och värmeväxlare, tas inte upp i denna rapport. En informationsökning genomfördes inledningsvis i detta arbete, där de viktigaste parametrarna för olika typer av kylmetoder med enbart vätskor undersöktes. Informationssökningen ligger till grund för den genomförda konceptgenereringen.

Det främsta resultatet av arbetet är det framtagna konceptet på hur batteriföretagets litiumbatterier kan kylas utan att påverka den befintliga konstruktionen av batterimodulen. Konceptet består av ett kylblock i koppar med inre kanaler och dess tillhörande rörledning samt en glykol-vattenlösning som kylmedium. En tunn elektriskt isolerande film, placeras mellan kylutrustningen och den strömförande komponenten i modulen för att inte tillåta kortslutning av battericellerna. Via CAD-modellen av den framtagna konceptlösningen kunde det bekräftas att den går att integrera i den befintliga batterimodulen med minimalt antal förändringar. Dimensioneringen av den konstruerade kylutrustningen baserades på befintliga lösningar och antaganden. Därmed kan det konstateras att det framtagna konceptet kommer minimera laddningstiden och begränsa värmeutvecklingen.

Concept development of a cooling equipment for a lithium battery
MARTIN KARLSSON, GUSTAV NILSSON BORNHALL
Department of Industrial and Materials Science
Chalmers University of Technology

Abstract

In this report, which is written for Chalmers university of technology and on behalf of Semcon, it is evaluated how to design and integrate a cooling equipment for one of the battery company's products.

The battery company specialize in flexible lithium battery technology, they offer high performance battery solutions, based on the customer needs. When these batteries are put to use, the amount of stored energy decrease, which means that the user is required to charge the battery. This charging operation is performed by adding power to the battery cells, which result in heat being generated. The heat generated consists of resistive heating and heat generated by the chemical reaction within the battery cell.

The battery company wants to reduce the charging time by enabling fast charging. Fast charging a battery means that the amount of added power per unit time is increased. The increased amount of power being added result in higher temperature levels in the battery cells and the risk of reaching critical temperatures is also higher. By reaching these critical temperatures the charging rate gets less efficient due to the batteries regulating BMS-system, the battery cells performance and lifetime is also affected in a negative way. To solve this problem and make fast charging possible, a cooling equipment is required.

Based on the thesis background the purpose is to develop a cooling equipment, customized to cool a lithium battery and therefore minimize the charging time based on the reduced temperature within the module. The development of a whole cooling system with components like: pump, hoses, connections and heat exchanger, is not included in this report. The project started by performing a wide range information retrieval about the main parameters that affect different types of cooling methods with liquid as coolant. The concept generation is based on the information that was obtained through the information retrieval.

The main result of the thesis work is the final concept that answers to the question "how can a cooling equipment be designed to cool the company's lithium batteries without making any changes to the current battery modules design". The final concept consists of a copper cooling block with internal channels and its coolant lines with a water glycol solution as coolant. A thin electric insulating film is placed between the cooling equipment and the component that transfers the current in the module to reduce the risk of shorting the battery cells. The final concept can be integrated in the battery module without making any major changes, this has been confirmed by a CAD-program. The dimensioning of the final concept is based on existing products and assumptions, thereby it can be stated that the concept will minimize the charging time and limit the heat generated.

Förord

Detta examensarbete är genomfört vid institutionen industri- och materialvetenskap på Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Examensarbetet är det slutgiltiga momentet för högskoleingenjörsutbildningen i maskinteknik och utgör 15 högskolepoäng av totalt 180 poäng som programmet motsvarar. I samarbete med Semcon har uppdraget genomförts åt en kund som utvecklar och tillverkar batterier, på halvtid under fem månaders tid.

Vi skulle i första hand vilja tacka vår handledare och examinator Mats Alemyr, tekniklektor på Institutionen för industri- och materialvetenskap, för all hjälp, handledning och lärrika diskussioner under examensarbetets gång.

Dessutom vill vi speciellt tacka Fredrik Borg på Semcon, för handledningen och det goda engagemanget i vårt examensarbete.

Slutligen skulle vi även vilja säga tack, till alla på avdelningen Product Design Engineering på Semcon för det trevliga bemötandet och den hjälp som vi fått under examensarbetets gång.

Martin Karlsson, Gustav Nilsson Bornhall, Göteborg, juni 2019

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Frågeställningar	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Teoretisk referensram	3
2.1	Litiumbatterier	3
2.2	Värmeutveckling i litiumbatterier	3
2.3	Kylning av litiumbatterier	3
2.3.1	Interna flöden i ett kylsystem	4
2.3.2	Värmeväxlare i kylsystem	4
2.3.3	Elektrisk isolering	5
2.4	Kylmedium till kylsystem	5
2.5	Värmeöverföring	6
2.5.1	Värmeöverföringsförmåga	7
2.5.2	Termisk diffusivitet	7
2.5.3	Termisk resistans	7
2.5.4	Fouling faktor	8
2.5.5	Temperaturutvidgningskoefficient	8
3	Metod och genomförande	9
3.1	Problembestämmning	9
3.2	Problemlösning	10
3.3	Utvärdering, bedömning och val av lösningar	11
3.4	Detaljkonstruktion och materialval	12
4	Resultat	13
4.1	Problembestämmning	13
4.1.1	Problemformulering	13
4.1.2	Produktbeskrivning	14
4.1.3	Funktionsbaserad kravspecifikation	16
4.2	Problemlösning	17
4.2.1	Katalogmetoden	17
4.2.2	Den första konceptgenereringen	19
4.3	Utvärdering av konceptgenerering ett	24

Innehåll

4.3.1	Relativ beslutsmatris	24
4.3.2	Viktbestämningsmatris	25
4.3.3	Kriterieviktsmatris	26
4.4	Den andra konceptgenereringen	27
4.5	Detaljkonstruktion och materialval för valt koncept	30
5	Slutsatser och rekommendationer	33
	Litteraturförteckning	35
A	Bilaga - Tabell litiumbatteriets ingående komponenter och dess funktioner	
B	Bilaga - Batteripaket	
C	Bilaga - Frågemetoden	
D	Bilaga - Kravspecifikation	
E	Bilaga - Sällning av lösningsalternativ i den första morfologiska matrisen	

1

Inledning

I denna rapport behandlas sökandet efter en konstruktionslösning på en kyltrustning till ett litiumbatteri. Avsnittet innefattar en bakgrund, ett syfte, avgränsningar samt en precisering av frågeställningen. Kunden till Semcon som detta arbete genomförs åt, utvecklar och tillverkar batterier och kommer att benämnas batteriföretaget i denna rapport.

1.1 Bakgrund

Batteriföretaget specialiserar sig inom flexibel litiumbatteriteknik och erbjuder sina kunder högpresterande batterilösningar, anpassade efter kundens behov. Företaget har en standardiserad modul som fylls med battericeller, där antalet celler och moduler sedan kan konfigureras och batteriets egenskaper anpassas på kundens begäran.

Batteriföretaget vill förhindra det problem som uppstår vid snabbaddning av litiumbatterier. För att ladda ett batteri tillförs det ström till batteriet. I sin tur, resulterar en ökning av strömtillförseln till en reducerad batteriladdningstid, men ger dessvärre även en förhöjning av temperaturen. För att ett litiumbatteri ska bibehålla en optimal prestanda under sin livstid krävs det att snabbaddningen sker under kontrollerade temperaturer. Därför använder sig företaget av ett säkerhetssystem som stänger av batteriet om temperaturen överstiger en farlig nivå. Företaget värderar innovativa kundanpassade batterilösningar och vill därför att vi ska ta fram en kyltrustning som på något sätt kan implementeras i deras nuvarande produkt och således skapa ett mer komplett produktutbud och bli en mer attraktiv leverantör. Arbetet med att ta fram en lösning på problemet, har utförts på företaget Semcon i deras lokaler.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utveckla en kyltrustning till en litium-batterimodul och därmed minimera laddningstiden genom att begränsa temperaturen i modulerna.

1.3 Frågeställningar

Arbetets syfte är att ge svar på följande frågeställningar.

1. Hur kan en kylutrustning till batteriföretagets litiumbatterimodul konstrueras och integreras med så få ändringar som möjligt på den befintliga produkten?
2. Hur ska kylutrustningen konstrueras för att minimera laddningstiden och begränsa värmeutvecklingen hos batteriföretagets litiumbatterimodul?

1.4 Avgränsningar

Till detta arbete har följande avgränsningar bestämts:

- Arbetet kommer inte att inkludera en utveckling av kylsystemets kringutrustning (som exempelvis värmepump, slangar och anslutningar).
- En simulering av kylförmågan kommer inte utföras i detta arbete av studenterna.
- Arbetet kommer endast att omfatta en kylutrustning anpassad för en av batteriföretagets batterimoduler.
- En modelltillverkning, där en fysisk prototyp av det valda konceptet tas fram, kommer inte genomföras i detta arbete.
- Battericellens modell kommer inte att bytas ut, därmed kommer cellens geometri förbli cylindrisk.
- Arbetsmediet till kylutrustningen kommer endast att vara en vätska.
- Arbetet avser inte att utveckla ett nytt kylmedium eller en ny laddningsmetod.

2

Teoretisk referensram

I följande kapitel presenteras den teori som ligger till grund för arbetets genomförande och resultat. Inledningsvis, förklaras litiumbatteriet samt dess användning och betydelse. Därefter förklaras värmeutvecklingen i litiumbatterier och hur kylning av dessa kan gå till. Slutligen redogör kapitlet för hur ett kylmedium till ett kylsystem kan väljas och vad som bör ha i åtanke vid valet, samt några viktiga parametrar för värmeöverföring.

2.1 Litiumbatterier

Ett batteri kan definieras som ett system där en elektrokemisk reaktion omvandlar kemisk energi av ett material till elektrisk energi. Litiumbatteriet är en av många olika typer av uppladdningsbara batterier på marknaden och används i olika elektriska produkter. Vanliga användningsområden är energilagringssystem i till exempel små elektriska portabla enheter eller olika typer av elektriska fordon. Anledningen till varför litiumbatterier är vanligt förekommande och har förändrat battericellsteknologin är för att litium är den metallen med lägst densitet och hög energidensitet. Dessa egenskaper gör att litiumbatteriet är en lämplig kandidat för applikationer som kräver en kompakt lättviktskonstruktion med hög prestanda och snabb laddning [1].

2.2 Värmeutveckling i litiumbatterier

I ett litiumbatteri uppstår en värmeutveckling till följd av att man laddar batteriet. Denna värmeutveckling består huvudsakligen av resistansvärme och kemisk reaktionsvärme [2]. Resistansvärmens är ett resultat av att elektroner kolliderar och bildar friktionsvärme då de rör sig i samma riktning på grund av spänningsfältet [3]. Det är viktigt att begränsa denna värmeutveckling då prestandan, livslängden och säkerheten kan påverkas negativt av drifttemperaturen hos ett litiumbatteri [4],[5].

2.3 Kylning av litiumbatterier

Det finns olika sätt att kyla litiumbatterier: man kyler antingen med en vätska eller med en gas. Vilken kylmetod man använder baseras främst på hur mycket värme som behöver kylas bort, vad det är som ska kylas, samt hur mycket plats man har tillgängligt för sitt kylsystem. Kylning med en vätska är enligt Yunus, John och Robert mycket mer effektiv än kylning med en gas, vilket är anledningen till att det är den allra vanligaste kylmetoden [6].

2.3.1 Interna flöden i ett kylsystem

I kylsystem och fluid-fördelande nätverk är det vanligt att en vätska eller en gas flödar i kanaler eller rör, med hjälp av en pump eller en fläkt. Det är då ofta av intresse att ta reda på tryckfallet ΔP_L och huvudförlusten h_L i dessa system, vilka är ett direkt resultat av friktionen i, samt mellan fluiden och rörväggen och räknas som energi- och friktionsförluster. Där tryckfallet uttrycks som $\Delta P_L = \frac{fL\rho V_{avg}^2}{2D}$ och där f kallas the Darcy friction factor och $\frac{\rho V_{avg}^2}{2}$ kallas dynamiskt tryck. Komponenter som vanligtvis orsakar detta är olika typer av rörkopplingar som exempelvis, böjar, inlopp och utlopp och är ett vanligt förekommande problem i system där många böjar är placerade tätt efter varandra. Skarpa kanter vid inlopp eller skarpa hörn medför en ökning av förlusterna och kan undvikas genom att fluiden tillåts ändra riktning gradvis. Huvudförlusten kan sedan användas för att bestämma vilken pump som krävs för att överkomma friktionsförlusterna [6].

I de flesta fallen där en vätska används som fluid i ett rörsystem, används ett cirkulärt tvärsnitt. Detta för att dessa rör kan klara av en stor tryckskillnad mellan insidan och utsidan av röret utan att deformeras eller krökas. Icke-cirkulära rör används ofta i applikationer där tryckskillnaden är relativt liten, tillverknings- och installationskostnaden är lägre, samt utrymmet för kanalsystem är begränsat, exempelvis värme- och kylsystem i byggnader [6].

Flödestypen i ett system kan antingen vara laminärt eller turbulent och har betydelse för värmeöverföringen i kylsystem. Att flödet är laminärt betyder att det har en ordnad karaktär medan turbulent är raka motsatsen. Övergången från laminärt till turbulent beror på geometri, ytfinhet, ytemperatur, flödes hastighet och typ av fluid. För att definiera flödestypen används Reynoldstalet Re , som är förhållandet mellan tröghetskrafterna och de viskösa krafterna. För icke-cirkulära rör kan Reynoldstalet baseras på den hydrauliska diametern $D_h = \frac{4A_c}{p}$ och räknas ut med $Re = \frac{\rho V_{avg} D_h}{\mu}$, där p är rörets vätskeberörda omkrets och A_c tvärsnittsarean, V_{avg} är vätskans medelhastigheten, är den dynamiska viskositeten och vätskans densitet. För cirkulära rör är Re definierat precis som innan bara att $D_h = D$, där D är diametern för cirkeln [6].

2.3.2 Värmeväxlare i kylsystem

En värmeväxlare är en av de vanligtvis förekommande komponenterna i ett kylsystem och har som uppgift att reglera temperaturen till en önskad nivå. Komponenten möjliggör utbytet av värmeenergi mellan två fluider utan att tillåta dem att blandas med varandra. Några vanliga typer av värmeväxlare på marknaden är exempelvis: rör-i-rör värmeväxlare, plattvärmeväxlare och tubpanna. Den värmeöverföring som sker involverar oftast konvektion i varje fluid och konduktion genom väggarna som separerar de två fluiderna [6].

2.3.3 Elektrisk isolering

Vid kylning av litiumbatterier är det vanligt att battericellerna isoleras från omgivande komponenter med någon typ av hinna eller film. Isoleringen sker med hjälp av ett material med låg elektrisk ledningsförmåga och hög dielektrisk styrka. Företaget DuPont säljer elektriskt isolerande filmer, exempelvis en Kapton-polyamid film som är speciellt framtagen för applikationer där elektriskt isolering behövs och samtidigt bibehålla termiska, fysiska, kemiska samt mekaniska egenskaper över ett brett temperaturintervall. Kapton-filmen levereras i tjocklekar från 0,025 millimeter till 0,125 millimeter och finns tillgänglig i ett antal olika varianter där olika egenskaper lyfts fram. DuPont MT+ och MT är de filmerna med högst termisk ledningsförmåga på 0,8 W/mK, med en dielektrisk styrka på 5 kV/mil (eller också 197 MV/m) [7],[8].

Att ett material är dielektriskt innebär att materialet har en dålig elektrisk ledningsförmåga. Materialet kan antingen vara en solid, vätska eller gas. Ett materials dielektriska styrka utnyttjas för att separera två material från varandra och undvika ledning av ström. Ett exempel på en dielektrisk vätska är mineralolja, som har en hög dielektrisk styrka och används bland annat vid kylning av elektronik där komponenterna sänks ned i vätskan utan att orsaka kortslutning. SI-enheten för dielektrisk styrka är V/m [9].

2.4 Kylmedium till kylsystem

När man står inför valet att välja en kylvätska till sitt kylsystem är en av de viktigaste faktorerna att vätskan ska vara kompatibel med den ytan den är i kontakt med. Detta är särskilt viktigt för att inte påverka pålitligheten och prestandan över lång tid. Några andra parametrar som kan vara av intresse för att erhålla ett väl fungerande kylsystem är: låg fryspunkt, låg viskositet, icke-korrosivt för materialet, hög termisk ledningsförmåga och högt värmekapacitetstal [10]. Baserat på dessa parametrar är de mest vanliga kylvätskorna: vatten, avjoniserat vatten, dielektriska fluider, glykol och vattenlösningar [11].

På grund av sin höga termiska ledningsförmåga och sitt höga värmekapacitetstal, är vatten ofta förekommande i vätskekylda system. Vanligt obehandlat vatten fungerar utmärkt tillsammans med kylutrustningar i koppar eller rostfritt stål, men kylutrustningar i aluminium fungerar inte med vatten som inte behandlats. En fördel med att välja vatten är att det oftast finns tillgängligt där kylsystemet ska användas. Det bör dock noteras att kvaliteten på vatten kan variera och mängden orenheter såsom mineraler, salter och klorid påverkar vätskans förmåga att bilda avlagringar i kanalerna samt korrosiviteten. En korrosionsinhibitor såsom tolytrialzole rekommenderas för kylutrustningar i koppar och sebacinsyra för aluminium. [11].

En annan typ av vatten där järn, koppar, natrium, bromid, kalcium, klorid och joner har avlägsnats från vätskan är avjoniserat vatten. Borttagningen av dessa orenheter medför att vätskans förmåga att bilda avlagringar är reducerad. En annan fördel med avjoniserat vatten är dess höga elektriska resistivitet, vilket således gör denna vätskan lämplig för applikationer där komponenter i kylsystem måste vara elektriskt isolerade. Korrosiviteten för vätskan ökar när dessa orenheter tas bort vilket medför att en korrosionsinhibitor som

motverkar systemets nedbrytning är nödvändig. Anslutningar till kylutrustningen bör vara nickelpläterade och kylblocket bör tillverkas i rostfritt stål av samma anledning [11].

Glykol och vattenlösning är vanligt förekommande som kylmedium i vätskekylda system där krav på låg fryspunkt ställs. En glykol och vattenlösning fungerar väl med material som aluminium, koppar och rostfritt stål. Etylenglykol-vatten är en sådan kylvätska, som har låg viskositet, bra termisk ledningsförmåga samt relativt högt värmekapacitetstal. För en kylvätska med en glykol-vattenlösning är det betydande att välja ett vatten med bra kvalitet eftersom det annars kan resultera i att kylutrustningens prestanda försämras med tiden. Det är också av vikt att välja rätt mängd glykol i lösningen eftersom kylvätskans termiska prestanda blir sämre med högre halter glykol. Det rekommenderas att en lösning med 25 – 30 % glykol används vilket medför en minskning av den termiska prestandan med 3 % och ett frysskydd ner till -15 °C. För ett frysskydd ner till -30 °C och lägre rekommenderas 50 % glykol [11].

Dielektriska vätskor används ofta i applikationer där kylutrustningen behöver vara elektriskt isolerad från andra komponenter och fungerar väl med material som koppar, aluminium och rostfritt stål. En vätska som är dielektrisk är 3M's Flourinert, som till skillnad från avjoniserat vatten är mindre korrosivt men även dyrare. Flourinert har en termisk ledningsförmåga på 0,063 W/m°C vilket är lägre än vatten som har ett värde på 0,59 W/m°C. Det specifika värmekapacitetstalet för Flourinert är 1100 J/kgK vilket är tre gånger sämre än en glykol-vattenlösning. En annan dielektrisk vätska är polyalphaolefin (PAO) som har en termisk ledningsförmåga på 0,14 W/m°C. Trots att dielektriska vätskor medför en säkrare kylning av elektriska komponenter, har de generellt en mycket lägre termisk ledningsförmåga än vattenbaserade lösningar [11].

2.5 Värmeöverföring

Ett kylsystems prestanda är direkt kopplat till dess värmeöverföring. Värmeöverföring definieras som den mängd värme, i form av energi, som överförs från ett system till ett annat, som ett resultat av en temperaturskillnad. Drivkraften för värmeöverföringen är temperaturskillnaden och dess olika mekanismer är konduktion (ledning), konvektion och strålning [6].

Mekanismerna konduktion och konvektion liknar varandra då de båda behöver närvaron av ett solitt material för att fungera. Men de skiljer sig i att konvektion behöver närvarandet av en fluid i rörelse. Värmeöverföring genom en solid sker alltid med konduktion medan det är mer komplicerat för en vätska eller gas. För en vätska eller en gas inkluderar värmeöverföringen både konvektion- och konduktion, där fluidens rörelse förbättrar överföringen av energi. Detta sker eftersom att fluiden initierar en högre konduktionshastighet vid ett större antal platser i fluiden. Således ger en ökning av fluidens hastighet också högre värmeöverföringshastighet [6].

Värmeöverföringshastigheten för konvektion beror på fluidens egenskaper såsom: termisk konduktivitet k , dynamisk viskositet μ , densitetoch specifik värmekapacitet C_p . Den beror också på ytfinheten och geometrin hos fluidkanalen, samt på vilket typ av flöde (lami-

närt eller turbulent) som råder [6]. Den flödestypen som vanligtvis används är turbulent eftersom att den vanligtvis medför högre värmeöverföringskoefficienter [6]. Värmeöverföringshastigheten kan i vissa fall ökas upp till 400% genom att använda ett turbulent flöde istället för ett laminärt. Detta går att tillämpa genom att tillverka fluidkanalerna med en grövre ytfinhet eller med fenor [6].

2.5.1 Värmeöverföringsförmåga

Värmeöverföringen är beroende av kylsystemets värmeledningsförmåga (som betecknas med k) och mäts i W/mK eller $W/m^{\circ}C$, samt värmelagringsförmågan som kan uttryckas i hur mycket energi som kan lagras i ett material per mass- eller volymenhet. Värmelagringsförmågan representeras av det specifika värmekapacitetstalet C_p och mäts i J/kgK eller värmekapaciteten C_p multiplicerat densiteten, med enheten J/m^3K . Värmeöverföringen är således beroende av vilket material kylutrustningen består av och hur det är konstruerat. Olika material leder och lagrar värme olika bra, exempelvis så varierar värmeledningsförmågan med en faktor på 10^4 mellan ull och rena metaller [6].

2.5.2 Termisk diffusivitet

Termisk diffusivitet är en materialegenskap som är betydande för hur väl ett kylsystem presterar och representerar hur snabbt värme sprider sig i ett material. Denna egenskap definieras som värmeledningsförmågan i förhållande till värmekapaciteten, α är kvoten mellan värmeledningsförmågan och värmelagringsförmågan, α mäts i m^2/s , vilket betyder att värmen fortplantar sig snabbare i ett material med en hög termisk diffusivitet medan ett material med lågt värde mestadels absorberar värmen [6].

2.5.3 Termisk resistans

Motståndet till värmeöverföring mellan två system är termisk resistans och kan delas in i konvektionsresistans, ledningsresistans, strålningsresistans samt även kontaktresistans. Dessa resistanser kan enkelt adderas till en ekvivalent termisk resistans. Desto större denna termiska resistans är, desto långsammare är värmeöverföringen. Exempelvis så ökar den termiska ledningsresistansen med ytterligare lager av isolering vid en yta av en solid [6].

Termisk kontaktresistans är det motstånd som hämmar värmeöverföringen mellan två materials kontaktytor. Denna resistans beror främst på ytfinhet och materialegenskaper men också av temperaturen, typ av fluid och trycket vid gränssnittet mellan ytorna. Vid en fin ytfinhet och en ökning av kontaktrycket minskar denna resistans. Ett tunt lager av någon typ av folie kan placeras mellan materialen vid kontaktytan och på så sätt reducera resistansen. Termisk kontaktresistans har visat sig vara betydande och kan dominera värmeöverföringen för en bra värmeledare [6]. För kylmetoder med kylplattor är en ytfinhet på 0,8 - 1,6 μm tillräckligt och en finare yta än detta medför enbart en större kostnad och ingen förbättring i termisk prestanda [12].

2.5.4 Fouling faktor

Prestandan på system som inkluderar någon form av värmeöverföring mellan fluider eller mellan en fluid och en värmekälla blir sämre med tiden. Detta på grund av att det bildas avlagringar på de värmeöverförande ytorna. Värmeöverföringen minskar eftersom det extra lagret på ytan bidrar till att öka den termiska resistansen hos systemet. Typen av fluid och valet av material i ett system, påverkar hur omfattande denna faktor blir. Nettoeffekten av dessa ackumuleringar representeras av en fouling faktor och mäts i enheten m^2K/W och beror därför på vilken driftstemperatur och hastighet som används på fluiden. Faktorn ökar med ökande temperatur och minskande hastighet på fluiden [6].

2.5.5 Temperaturutvidgningskoefficient

När ett föremål värms upp kommer man få en töjning i materialet på grund av temperaturändringen ΔT ($^{\circ}C$), vilket betyder att dess volym kommer att ändras. Denna töjningen kan bestämmas med hjälp av formeln $\epsilon = \alpha\Delta T$, där α är materialets temperaturutvidgningskoefficient (även kallad längdutvidgningskoefficient). Föremålets förlängning δ som blir på grund av denna töjning, kan beräknas enligt: $\delta = L_o\alpha\Delta T$, där L_o representerar den ursprungliga längden $1/^{\circ}C$ [13].

3

Metod och genomförande

Detta kapitlet beskriver arbetets metodval, som grundar sig på arbetets syfte och frågeställning. Avsnittet är uppdelat i tre delmoment: *problembestämmning*, *problemlösning* samt *utvärdering, bedömning och val av lösningar*. Samtliga delmoment representerar produktutvecklingsprocessens faser och innefattar arbetets tillämpade metoder för produktutveckling. I samband med att varje delmoment presenteras kommer även arbetets genomförande redovisas.

3.1 Problembestämmning

Ett problembestämningsarbete syftar till att kartlägga problem och dess natur, för att klargöra de egentliga problemen, fokusera arbetet, tydliggöra beslutsprocessen, samt stödja dokumentation av arbetet och analyser av alternativa lösningar. För att medvetengöra problemen och dess karaktär har detta arbete tillämpat ett par metoder: *frågemetoden* och *situationsbestämning*.

Frågemetoden innebär att underlag för den slutliga problembeskrivningen bildas genom ett hopbringande av fakta och synpunkter, som är objektiva och distinkta. Detta underlag samlas in genom att formulerade frågeställningar besvaras, som exempelvis ”vad är problemet och varför existerar det?”, ”var finns problemet och varför finns det där?” och ”när finns problemet och varför finns det just då?”. Således kan en problembestämmning konkretiseras, genom att respektive frågor besvaras [14].

För att skapa ytterligare förståelse för problemen kan tillämpning av metoden situationsbestämning bidra med en realistisk uppfattning om problemen och de förhållanden som omger problemen. Alltså, genom att besöka platsen där problemen förekommer kan faktorer som miljöfaktorer, arbetsmoment, arbetsställningar, samt sociala och psykosociala faktorer, öka insikterna kring problemen. Likaså innefattar metoden att man genom samtal och frågeställningar, samt observationer och dokumentation av platsen där problemen finns får en djupare förståelse för problemen [14].

Problembestämmningen inleddes med ett besök hos företaget i Göteborg där frågeställningar, liknande dem som är formulerade för frågemetoden, besvarades genom samtal, för att således skapa en ingående förståelse för det problem som ligger till grund för arbetet. Det fortsatta arbetet med problembestämmningen skedde med ett ytterligare besök hos företagets produktionsanläggning i Växjö. Besöket bidrog till en god produktkännedom och

specificerade krav och önskemål, vilket underlättade det fortsatta arbetet med konstruktionen av kyltrustningen. När problemet hade formulerats och kriterier i form av krav och önskemål specificerats, kunde först en funktionsanalys genomföras för att slutligen sammanställas till en kravspecifikation. Önskemålen viktades (på en viktningskala mellan 1 till 5) över hur viktiga de ansågs vara.

Funktionsanalysen genomfördes genom att en funktionsbaserad kravspecifikation togs fram där produktens funktioner delades in med utgångspunkt från vilka roller de hade. Följande indelning gjordes: huvudfunktioner, delfunktioner, stödfunktioner och oönskade funktioner. Huvudfunktionen beskriver produktens huvudsakliga uppgift och måste uppfyllas. Delfunktionerna är de som tillsammans uppfyller huvudfunktionen och är väsentliga för att den ska kunna uppfyllas. Stödfunktionerna är funktioner som underlättar användningen av kyltrustningen och kan höja produktens kundvärde. Eftersom att en kravspecifikation är en levande informationsmängd, uppdaterades den under arbetets gång i takt med att kunskap om produkten och de områden beträffande problemet ökade.

3.2 Problemlösning

Med erforderlig information om de problem som berör produktutvecklingen, kan den ingående informationen användas som utgångspunkt vid sökandet efter produktlösningar. Mer specifikt, när problemens sammansättning och sammanhang har tydliggjorts kan metoder användas, för uppdelning och analys av problemen, som stödjer problemlösningssprocessen. I detta arbete tillämpas *katalogmetoden* samt *morfologisk matris*.

Katalogmetoden är en rationell metod som används för stöd till kreativt tänkande vid problemlösningsarbeten. Mer specifikt, går metoden ut på att man söker information bland litteratur, "kataloger" och via internet, för att på så sätt få inspiration och ideér om hur andra lyckats lösa det aktuella problemet.

En stödm Metod för att kombinera och sammanställa lösningsalternativ till totallösningar är skapandet av en morfologisk matris. Målet med denna stödm Metod är att generera ett antal koncept/totallösningar som uppfyller alla krav i produktspecifikationen, samt är tekniskt rimliga och har dellösningar som är fysikaliskt och geometriskt kompatibla.

En tillämpning av katalogmetoden genomfördes, i form av en informationssökning på internet, där kyltrustningar för olika typer av ändamål undersöktes, där de viktigaste parametrarna såsom ledning av kylmedium, val av material, kyleffekt, typ av tvärsnitt på kylkanalen, massflöde, tillverkningsmetod samt dimensioner dokumenterades.

Med kunskap om problemet samt ideér från befintliga lösningar kunde en lösningssökning/konceptgenerering påbörjas. För att underlätta det kreativa tänkandet och sökandet efter lösningar på problemet, delades problemet in i mindre delproblem/delsystem. Därefter söks lösningar till var och en av delsystemen, för att sedan sammanställas till totallösningar/koncept i en morfologisk matris enligt [14]. För att kunna hantera ett rimligt antal konceptlösningar genomfördes en sällning av de lösningsalternativ som hade genererats i

den första konceptgenereringen. Således kunde antalet koncept reduceras betydligt genom att rimliga resonemang fördes. Endast dem koncepten som uppfyller alla grundkraven enligt produktspecifikationen och är realiserbara återstår.

En andra konceptgenerering utfördes även efter den första, på begäran från företaget, med syftet att förse dem med ytterligare alternativ på hur kylutrustningen kan konstrueras till en litium-batterimodul för framtida produktframtagningar. Skillnaden med den senare konceptgenereringen är att denna öppnar upp en frihetsgrad av förändringar på den befintliga konstruktionen. Vidare tillåter den senare konceptgenereringen en modifiering av battericellernas positioneringen på ett sådant sätt att tvärsnittet på modulens ytterhölje inte påverkas.

3.3 Utvärdering, bedömning och val av lösningar

För att kunna fastställa vilket koncept som uppfyller de krav och önskemål som formulerats i produktspecifikationen bäst, krävs det att ett utvärderingsarbete genomförs. Detta innebär att varje koncept analyseras med avsikten att bestämma dess värde/kvalitet i förhållande till kraven och önskemålen för att sedan kunna jämföras mot varandra. I detta arbete har metoden *beslutsmatriser* använts.

Utvärderingen med metoden *beslutsmatriser* innefattar följande steg: en sällning av de alternativ som inte klarar av att uppfylla kraven i produktspecifikationen, inte löser huvudproblemet och inte kan realiseras. En genomföring av en *concept screening* (*Pughs metod*) med hjälp av en relativ beslutsmatris där de genererade koncepten jämförs mot en vald referenslösning och de sämsta sorteras bort. Vid jämförelsen bedöms det berörda kriteriet/önskemålet utefter huruvida det aktuella lösningsalternativet/konceptet uppfyller önskemålet bättre än (+), lika bra som (0) eller sämre än (-). Referenslösningen kan antingen vara ett av de genererade koncepten eller en befintlig produkt. En genomföring av en *concept scoring* (*Kesselrings metod*) med hjälp av kriterieviktmatriser där lösningsalternativens uppfyllelse av önskemålen viktade och summerade delbetyg jämförs.

Efter det tidigare delmomentet, problemlösningen, där ett antal rimliga koncept tagits fram i den första konceptgenereringen, gick dessa vidare till den första utvärderingsprocessen. Denna processen inleddes med att en relativ beslutsmatris enligt [14] skapades och en referenslösning fastställdes. För att sedan fortsätta i en jämförelse av koncepten mot referenslösningen och en summerad bedömning kunde sammanställas i ett nettovärde för varje alternativ. Utifrån detta nettovärde rangordnades avslutningsvis koncepten och det mest fördelaktiga konceptet återstod. För att säkerställa att en klar rangordning erhållits, genomfördes en ytterligare omgång av den relativa beslutmatrisen där referenslösningen byttes mot den i den första omgången segrande konceptlösningen.

Alla konceptlösningarna från den tidigare utvärderingsprocessen togs vidare till en avslutande utvärdering med *Kesselringsmetoden* enligt [14]. Några förberedande åtgärder krävdes där de listade önskemålen i produktspecifikationen värderades utifrån sin viktighet i en *viktbestämningssmatris* enligt [14]. Sedan upprättades betygsskalor utifrån denna viktbestämningssmatris. Således kunde den avslutande utvärderingen påbörjas med fastlag-

da viktfaktorer och fastställda betygsskalor för varje önskemål. Efter en genomgången kriterieviktmatris (Kesselring) kunde en rangordning utföras och den bästa lösningen väljas. Dock valdes lösningen med försiktighet då det finns skäl att ifrågasätta resultatet från utvärderingsprocessen. Eftersom att koncepten från den första konceptgenereringen utvärderats och ett koncept valts, genomfördes aldrig en utvärdering för den andra konceptgenereringen. Anledningen till att koncepten i den andra konceptgenereringen inte utvärderades är för att syftet endast var att förse företaget med ytterligare alternativ vid eventuella framtida produktframtagningar.

För att ytterligare kunna utvärdera de framtagna koncepten bokades ett möte för en konceptpresentation med den aktören i arbetet vars åsikt vägde tyngst, vilket var beställaren av arbetet. Tanken med mötet var att utvärdera ifall vi kommit fram till något som även beställaren anser vara realistiskt, samt att vi är överens om vilket koncept som vi väljer att jobba vidare med.

3.4 Detaljkonstruktion och materialval

Under detaljkonstruktionsarbetet är ett CAD-program som Catia V5 ett lämpligt redskap. I detta arbete användes Catia V5 på grund av goda erfarenheter med och kunskaper om, samt tillgänglighet till vederbörande program. Kyltrustningen dimensioneras utefter rimliga antaganden baserat på den information som är tillgänglig för den befintliga produktens dimensioner samt produkter på marknaden som liknar det valda konceptet.

Materialvalet för kylblocket är gjort i CES-edupack level tre. Valet gjordes inledningsvis genom att lista olika materials termiska ledningsförmåga i förhållande till dess pris per kilo. Genom att ställa krav på materialet, sker en första sällning av materialen. Kraven ställdes enligt följande: det ska vara återvinningsbart, ha goda egenskaper för att kunna svetsas på ett bra sätt och ha en termisk ledningsförmåga som är större än $300 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Syftet med kravet som ställs på den termiska ledningsförmågan är för att i ett tidigt stadie sälla bort dåliga material och underlätta det vidare arbetet med materialvalet.

Då endast ett par alternativ återstår genomförs en eliminering av de material som inte anses vara rimliga att använda för kylblocket, samt att jämföra de olika materialens förmåga att bearbetas.

4

Resultat

Detta kapitlet redogör för arbetets resultat. Avsnittet är uppdelat i följande delresultat: resultatet från problembestämningen, problemlösningen, utvärderingen av koncepten samt detaljkonstruktionen och materialvalet.

4.1 Problembestämning

I följande avsnitt presenteras resultatet av det arbete som är genomfört för att åstadkomma en problemformulering, produktbeskrivning och en funktionsbaserad kravspecifikation.

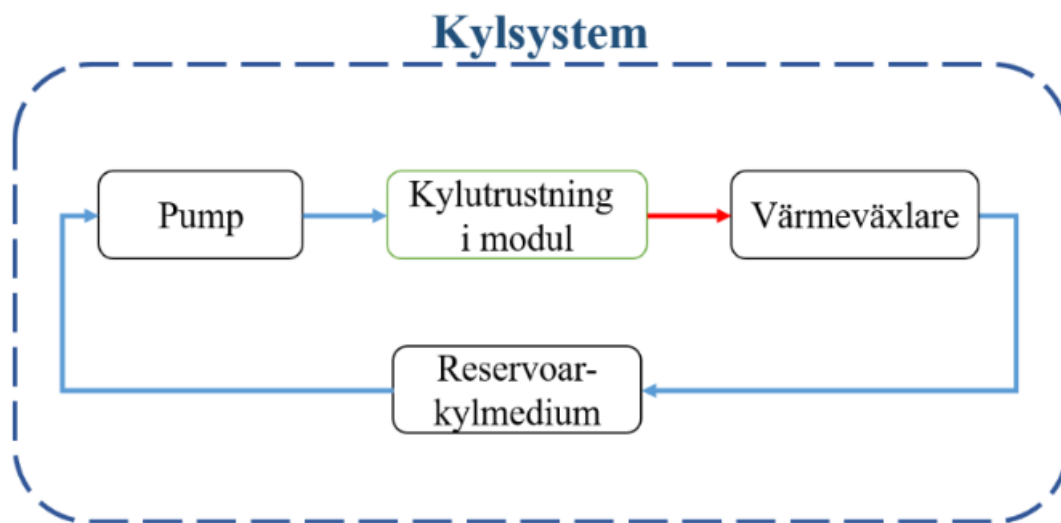
4.1.1 Problemformulering

Efter det första besöket hos företaget där problemet diskuterades, kunde frågeställningar enligt frågemetoden ställas upp och besvaras. Frågorna och svaren på frågeställningarna redovisas i bilaga C. Detta medförde att den slutgiltiga beskrivningen av det huvudsakliga problemet där syftet med arbetet även kunde konkretiseras.

Den slutgiltiga problemformuleringen lyder enligt följande: batteriföretaget specialiserar sig inom flexibel litiumbatteriteknik och erbjuder sina kunder högpresterande batterilösningar, anpassade efter kundens behov. När batterimodulerna används förbrukas den i batteriet lagrade energin, vilket medför att en laddningsprocess någon gång måste utföras av användaren. Denna laddningsprocess resulterar i en tillförsel av ström till battericellerna vilket i sin tur innebär att en värmeutveckling, på grund av resistansvärme och kemisk reaktionsvärme, uppstår i varje battericell. Företaget vill kunna erbjuda en snabbare laddningsprocess, en så kallad snabbbladdning. För att åstadkomma detta krävs en ökning av mängden tillförd ström per tidsenhet. Denna ökning resulterar i en förhöjning av värmeutvecklingen och leder till att risken blir högre för att kritiska temperaturer ska uppnås. Problemet är att om dessa kritiska temperaturnivåer uppnås, reduceras mängden tillförd ström successivt och laddningen blir då mindre effektiv på grund av batteriets BMS-system. Även batteriets prestanda och livslängd påverkas negativt. För att lösa problemet och möjliggöra snabbbladdning, krävs det att en kylutrustning integreras i den befintliga produkten.

Efter besöket hos kunden, fastställdes det att arbetet endast ska omfatta en konceptframtagning av den delen av kylsystemet som befinner sig i modulen och kallas för kylutrustning i modul. Ett principiellt schema över ett tänkt kylsystem kan ses i figur 4.1. Pilarna i figur 4.1 som förbinder kylsystemets olika komponenter symboliserar vätskeledningar

som kylmediet flödar genom. De olika färgerna visar temperaturen på kylmediet, blå är kall och röd är varm.

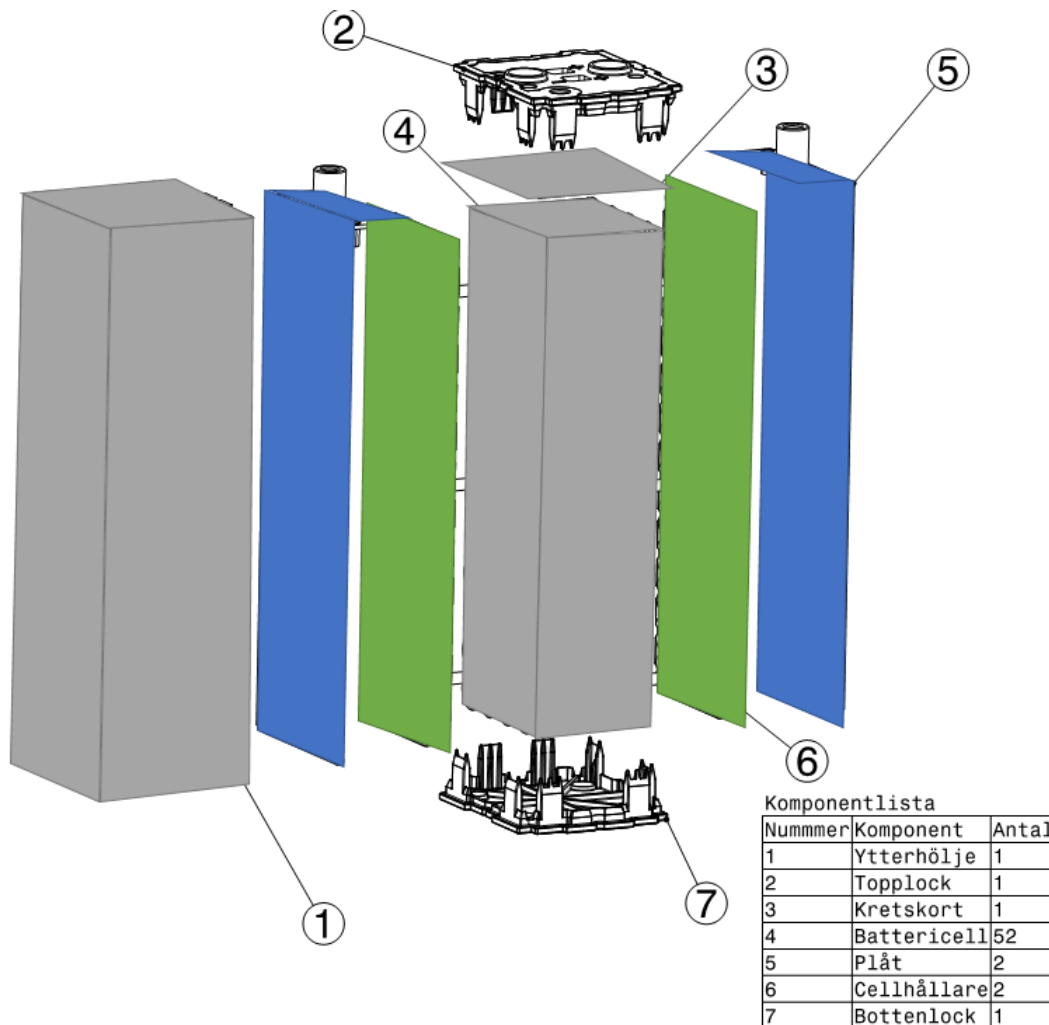


Figur 4.1: Principiellt schema av ett kylsystem

4.1.2 Produktbeskrivning

Detta avsnitt beskriver den produkt som kylutrustningen konstrueras till samt förklarar vad som menas med snabbbladdning.

Batteriföretaget tillverkar litiumjon-batterimoduler och finns i nuläget i några olika storlekar. Batterimodulen som arbetet berör har kapaciteten 150 Ah och finns i två varianter, en A och en B modul, där den enda skillnaden är att komponenterna innanför ytterhöljet är vridna ett halvt varv. Denna vridning möjliggör att flera modulers plus- och minuspoler med enkelhet kan kopplas samman till ett större batteripaket med en spänning på exempelvis 48 V (som motsvarar 14 batterimoduler). Batterimodulen väger 3,45 kg och består totalt av sju stycken huvudkomponenter: battericell, cellhållare, plåt i aluminium, ytterhölje, topplock, kretskort samt bottenlock som kan ses nedan i figur 4.2. Dessa komponenter och dess funktion kan ses i bilaga A.



Figur 4.2: Sprängskiss av batterimodulen, censurerad på grund av sekretess

Totalt finns det 52 stycken battericeller i denna modell som är placerade i 13 rader med fyra celler i varje rad. Battericellerna är parallellkopplade vilket medför en total spänning för batteriet på 3,7 V (som varierar mellan 2,8 - 4,2 V beroende på laddningsmängden). Cellernas två poler, minus och plus, svetsas ihop med de två plåtarna, vilket resulterar i en minusplåt och en plusplåt som har varsin anslutning i topplocket på batterimodulen. Batterimodulen har en ip-klassning på 65, vilket erhålls genom att batterimodulen tätas med silikon och ultraljudssvetsning. De inre delarna, batteripacket (med celler, cellhållare och plåtar) fixeras med insprutning av silikon på utvalda platser. Batterimodulen är även avsedd för att klara av en transport-temperatur mellan -35 till 65 °C. Dock försämras livslängden hos batteriet om det utsätts för extrema temperaturer.

Det som ligger till grund för detta arbete är som tidigare nämnt att batteriföretaget vill möjliggöra snabbbladdning av sina litiumbatterier. Med snabbbladdning menas att laddningstiden reduceras genom en ökning av strömtillförseln. Ökningen av strömtillförseln medför i sin tur en ökning av temperaturen hos värmekällorna: battericeller och aluminiumplåtar. Temperaturen i batterimodulen är fördelad på ett sådant sätt att den högsta temperaturen uppstår i toppen av modulen. Detta är ett resultat av att all ström till alla

4. Resultat

battericeller går igenom plåtarna och således flödar det mer ström i toppen av dessa. I dagsläget laddas batteriet med 0,8 gånger batteriets kapacitet C, vilket medför en laddningstid på cirka 114 minuter. Företaget siktar på att ladda batteriet på 45 minuter, som innebär en strömtillförsel på två gånger batteriets kapacitet C, även kallat 2C laddning. Vid en laddning av två gånger batteriets kapacitet alstras enligt företaget ungefär 45 W värme per tidsenhet som behöver kylas bort. Laddningsprocessen sker i nuläget genom att laddningsutrustningen kopplas på manuellt. En liknande manuell process för påkoppling av kylmediet till kylutrustningen skulle även gälla i framtiden. Detta skulle således innebära att användarvänligheten försämrats för batteriet.

4.1.3 Funktionsbaserad kravspecifikation

Resultatet av funktionsanalysen presenteras ovan i tabell 4.1. En klassificering av funktionerna är gjord där HF står för huvudfunktion, N står för nödvändig, Ö står för önskvärd och O för oönskvärd.

Tabell 4.1: Funktionsbaserad kravspecifikation

Funktionsbaserad kravspecifikation - Kylutrustning		
Funktion	Klass	Anmärkning
Huvudfunktion		
Kyla battericeller	HF	vid laddning
Delfunktioner		
Transportera kylmedium	N	med kanaler
Överföra värme	N	från värmekälla
Ej tillåta kortslutning	N	av batteriet, ej strömförande
Tåla värme	N	utan att haverera
Stödfunktioner		
Ge jämn temperaturfördelning	Ö	mellan battericeller i modulen
Möjliggöra 2C laddning	Ö	
Oönskade funktioner		
Påverkar användarvänligheten	O	vid laddningsprocessen
Ökning av priset	O	
Ökning av vikten	O	material medför ökning av totala massan hos batteriet
Ändring av befintlig produkt	O	

Funktionsanalysen och den funktionsbaserade kravspecifikationen ligger till grund för den slutgiltiga kravspecifikationen där kylutrustningens krav och önskemål presenteras med angivna målvärden. Kriterierna är indelade i följande kategorier: prestanda, livslängd, underhåll, tillverkning, tillverkningskostnad, storlek och form, vikt, material, kvalitet och tillförlitlighet samt säkerhet. Kravspecifikationen redovisas i bilaga D.

4.2 Problemlösning

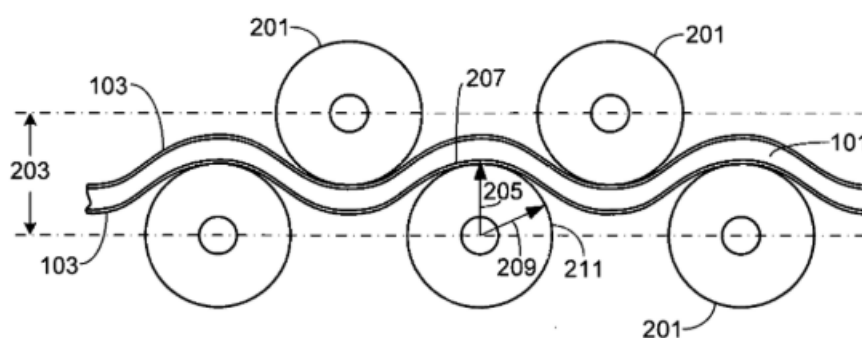
Resultatet från katalogmetoden presenteras i detta kapitel och resultatet från konceptgenereringsprocessen därefter.

4.2.1 Katalogmetoden

I detta avsnitt framförs resultatet av informationssökningen som genomfördes med katalogmetoden. Inledningsvis presenteras kylmetoden som företaget Tesla använder sig av och slutligen kylmetoder med olika typer av kylblock.

Företaget Tesla är ett företag inom fordonsindustrin som tillverkar elbilar. Elbilarna drivs av litiumbatterier och utsätts för en temperaturökning då de laddas, men även då bilen är i drift. För att reglera temperaturen i batterierna har Tesla konstruerat ett kylsystem för batterierna. Den delen av kylsystemet som är intressant för oss är främst konstruktionen som möjliggör värmeöverföringen mellan batteriet och kylmediet. "Tesla kommer inte att driva några stämningar mot någon som i god tro vill använda vår teknik [15].", därmed är tekniken som presenteras i patentet, som arbetsgruppen har beaktat, tillåten att användas vid konceptframtagningen [16].

För att leda bort värmen i battericellerna, placeras en vätskeledning längs med cellernas mantelyta. Vätskeledningen är formad i ett vågigt mönster för att optimera kontaktytan och maximera mängden värme som leds bort från cellerna, se figur 4.3 nedan. Ett termiskt gränssnittslager placeras mellan kylledningen och battericellerna för att undvika kortslutning via direkt metallisk kontakt. Det termiska gränssnittslagret kan till exempel tillverkas i material som silikon-elastomerblandningar eller termoplastiska elastomerer. Gällande kylkanalen, kan den tillverkas i aluminium, koppar eller stål och med ett ellipslikt tvärsnitt med inre kanaler [16].

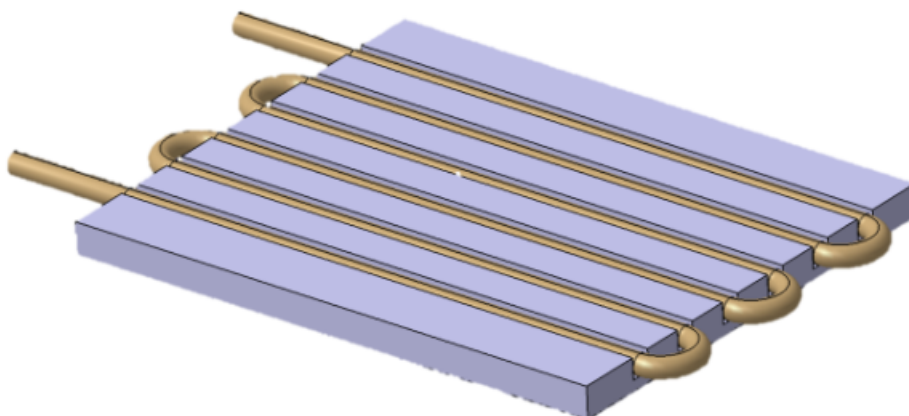


Figur 4.3: Teslas kylutrustning med vätskeledning mellan battericeller [17]

Kylmetoden med kylblock bygger på att man leder ett kylmedium (i form av en vätska) genom en kylledning inuti ett block av någon sorts metall. Kylblocket placeras sedan i direkt kontakt med den värmekälla man vill leda bort värme från. Det finns ett par olika varianter av kylmetod och det som varierar är tillverkningsmetoden, utformningen av kylkanalen och ledningen kylmediet genom kylblocket. Denna kylmetoden lämpar sig väl

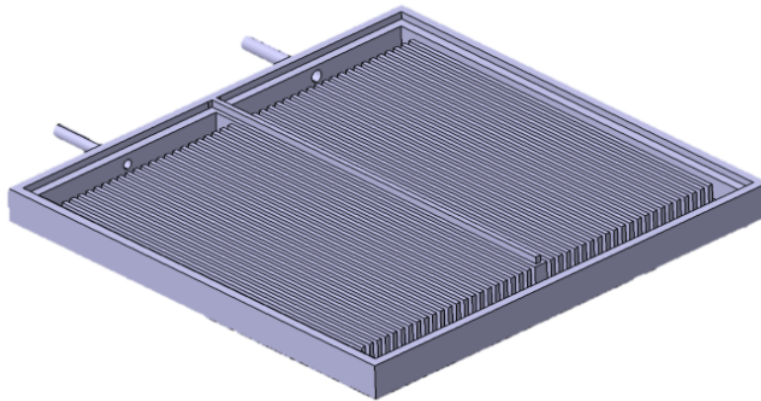
vid användningen i kompakta konstruktioner med hög värmeutveckling [18].

Variant 1: I den första varianten (som kan ses i figur 4.4) fräses man ett spår i kylblocket för att sedan pressa och limma fast en kopparslinga som kylmediet sedan leds igenom. Det vanligaste materialet för plattan är aluminium 6063-T6, vilket är aluminium legerat med kisel och magnesium som är utskiljningshärdat [19]. Det vanligaste materialet för kylmediets ledning är koppar av typen C11000, som består av 99,9 % koppar och har en hög elektrisk konduktivitet, vilket betyder att materialet även har en god termisk ledningsförmåga [20].



Figur 4.4: Kylblock variant ett

Variant 2: Den andra varianten (som kan ses i figur 4.5) är ganska lik den första, men den stora skillnaden är att man inte har en separat kylslinga för kylmediet utan man leder kylmediet genom flera kanaler i kylblocket. Kylkanalerna kan tillverkas med metoder som fräsning eller vakuumlödning. Vakuumlödning är en avancerad sammanfogningsteknik som föredras till komplexa högpresterande aluminium eller koppar kylblock och värmväxlare eftersom läckagefria och starka fogar erhålls samt möjligheten att fylla långa och vanligtvis oåtkomliga fogar [21]. Yttre dimensionerna såsom längd, bredd och tjocklek på kylblocket, som levereras av företaget Kinto, varierar mellan 220x80x16 millimeter och 415x235x20 millimeter. Dimensionerna på deras kylkanaler uppskattas att variera mellan 1 och 5 millimeter. Kintos kylblock tillverkas i koppar eller aluminium och några vanliga applikationer för denna variant är inom militär- och rymdindustrin, medicinsk utrustning och laserutrustning. Tillverkningsmetoden för variant två innefattar högprecisionsmaskinbearbetning och friktionssvetsning [22].



Figur 4.5: Kylblock variant två

Variant 3: Den tredje varianten består av två tunna aluminiumplåtar med ett inre kanalsystem. Det önskade mönstret på kanalsystemet markeras på en av de två plåtarna med en hjälp av en skärmavbildningsteknologi. Den ytan mellan plåtarna som inte är markerad med kanalsystemet, sammanfogas sedan med hjälp av värme och tryck. Därefter expanderas kanalsystemet med hjälp ett inre tryck. Kanalsystemet kan tillverkas i ett stort antal variationer och kan väljas att sticka ut på båda sidorna eller bara på ena sidan av panelen. Denna variant av kylblock tillverkas vanligtvis i tjocklekar från 1 millimeter till 5 millimeter och kan då användas till applikationer som har begränsade utrymmen. Några vanliga användningsområden kan vara batterikylsystem, värmeväxlare, förångare i kylskåp eller solvärmesystem [23].

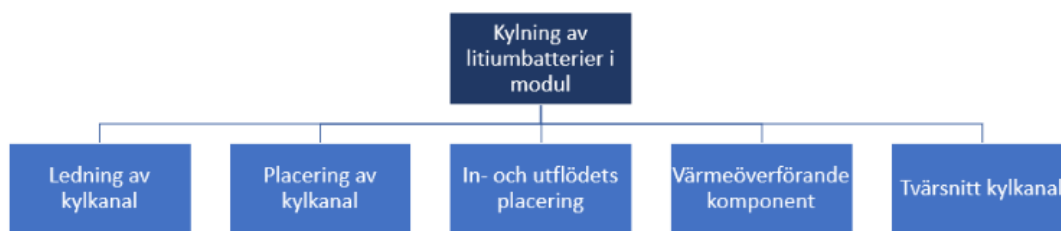
Variant 4: Den fjärde varianten kallas för medical cold plate och används bland annat för kylning av röntgenbildsenheter inom sjukvården. Även den här varianten bygger på samma princip som de tidigare varianterna med ett kylblock med ett inre kanalsystem. Det här kylblocket lämpar sig för kylning där det är brist på plats och är endast 4,5 millimeter tjock samt möjliggör ett flöde av kylmediet på 0,6 liter/minut med ett tryckfall på 2 bar och en kyleffekt på 60 W [24].

4.2.2 Den första konceptgenereringen

Detta avsnitt presenterar indelningen av huvudproblemet i mindre delproblem eller delsystem, den morfologiska matrisen med respektive lösningsalternativ samt även den första konceptgenereringen som resulterade i fyra koncept.

Indelningen av delproblemen/delsystemen kan ses i figur 4.6 där följande delsystem har valts: Ledning av kylkanal, placering av kylkanal, in- och utflödets placering, värmeöverförande komponent, tvärsnitt kylkanal. Dessa delsystem är valda utifrån vad som ansågs vara rimligt för att kunna generera logiska lösningsalternativ.

4. Resultat



Figur 4.6: Indelning av huvudproblemet i delproblem/delsystem

Delsystem	Lösning 1 Ledning 1	Lösning 2 Ledning 2	Lösning 3 Ledning 3	Lösning 4 Ledning 4	Lösning 5 Ledning 5	Lösning 6 Ledning 6	Lösning 7	Lösning 8	Lösning 9
Ledning av kylkanal									
Placering av kylkanal	En sida	Två motsatta sidor	Två närliggande sidor	Alla långsidor	Centrum	Tre sidor			
In och utflöden placering	Mittén av kant 2	Hörn	Mittén av kant 3	Kant + hörn	Centrerade	Centrum kanter	Centrum kant	Centrum närliggande kanter	Centrum alla kanter
Värmeöverförande komponent	Block	Panel	Cellomslutande	Kylkanal					
Tvärsnitt kylkanal	Cirkulär	Ellips - en kanal	Ellips - flera kanaler	Cirkulär, räfflig insida	Ellips - räfflig insida	Hexagon	Rektangulär	Ellips, rektangulära kanaler	Ellips, cirkulära kanaler

Figur 4.7: Morfologisk matris

I figur 4.7 ovan, presenteras den morfologiska matrisen som ligger till grund för framtagningen av koncepten. I den morfologiska matrisen presenteras de olika delsystemen samt dess olika lösningsalternativ.

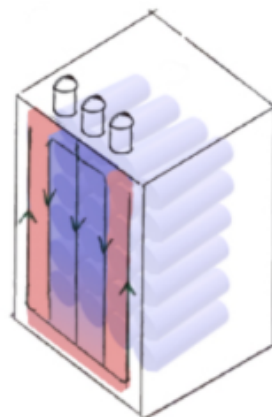
I den första konceptgenereringen, som grundar sig i att det finns begränsningar gällande förändringar på den befintliga produkten, har fyra koncept genererats. Resonemanget bakom sållningen av lösningsalternativen som genomförts redovisas i bilaga E. De genererade koncepten presenteras i figur 4.8, där lösningsalternativen för vardera koncept förenas med linjer i olika färger. Namnen på koncepten baseras på linjernas färger. Koncepten är följande: grön, blå, röd och lila. Samtliga koncept som har genererats placeras vid aluminiumplåten som förbinder minuspolerna i modul B. Blocket placeras där eftersom det är den enda platsen där kylutrustningen får plats utan att större och betydande ändringar genomförs på den befintliga produkten. Luftspalten vid A-modulens plusplåt måste behållas och därför kan A-modulen inte användas för dessa koncept, vilket medför att den elektriska sammankopplingen mellan flera B-moduler för ett batteripaket blir något krångligare. Anledningen till att anslutningarna för kylmediet enbart är placerade i topplocket för samtliga koncept, är för att när flera batterimoduler är kopplade till ett större batteripaket (som kan ses enligt bilaga B) är det den enda platsen som är tillgänglig. Värmeöverföringen maximeras även då temperaturskillanden (som är drivkraften för värmeöverföring) mellan fluid och värmekälla blir större, eftersom temperaturen är högre

Delsystem	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3	Lösning 4	Lösning 5	Lösning 6	Lösning 7	Lösning 8	Lösning 9
Ledning av kylkanal	Ledning 1	Ledning 2	Ledning 3	Ledning 4	Ledning 5	Ledning 6			
Placering av kylkanal	En sida	Två motsatta sidor	Två närliggande sidor	Alla långsidor	Centrum	Tre sidor			
In och utflöden placering	Mitten av kant 2	Hörn	Mitten av kant 3	Kant + hörn	Centrerade	Centrum kanten	Centrum kant	Centrum närliggande kanter	Centrum alla kanter
Värmeöverförande komponent	Block	Panel	Centrumslutande	Kylkanal					
Tvårsnitt kylkanal	Cirkulär	Ellips - en kanal	Ellips - flera kanaler	Cirkulär, rätting insida	Ellips - rätting insida	Hexagon	Rektangulär	Ellips, rektangulära kanaler	Ellips, cirkulära kanaler

Figur 4.8: Morfologisk matris ett, konceptgenerering ett

i toppen av modulen. För samtliga koncept krävs det även att en elektriskt isolerande film placeras mellan block och plåt.

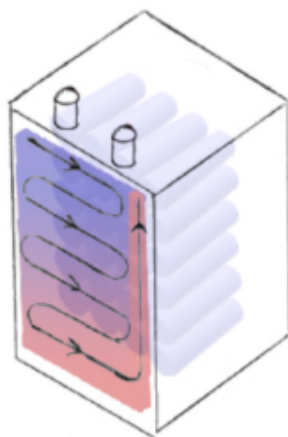
Koncept grön: Det första konceptet består av ett rektangulärt block med interna kylkanaler och kan ses i figur 4.9. Genom att använda ett block maximerar man den värmeöverförande ytan mellan värmekällan och kylutrustningen, vilket maximerar värmeöverföringen. Kylkanalen i blocket har ett rektangulärt tvärsnitt och består av många minikanaler. Kanalerna leds först ner i mitten över cellernas basytor för att sedan mynna ut i botten av blocket till två flöden som leds på var sin sida av det mittersta flödet. De yttre flödena är hälften så stora till volymen som den mittersta. Kylkanalen leds in i modulen genom en anslutning på lockets ena sida, för att sedan ledas ut genom två anslutningar, som också är placerade på samma sida av locket. De två utflödena placeras med ett godtyckligt avstånd från inflödet för att inte tillåta någon värmeöverföring. För att leda in kylmediet i modulen krävs det således att man gör tre hål i topplocket.



Figur 4.9: Koncept grön

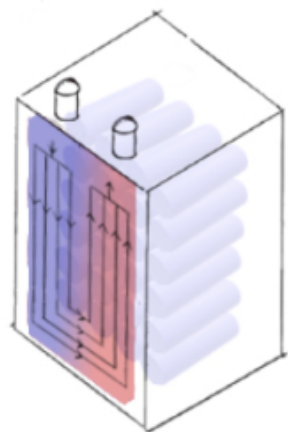
Koncept blå: Detta konceptet liknar koncept grön vad gäller utformningen och place-

ringen av kylkanalen och kan ses i figur 4.10. Kylkanalen består även här av rektangulära minikanaler som är placerade i ett block på en sida av modulen. Det som dock skiljer sig är placeringen av in- och utflödet samt ledningen av kylkanalerna. Koncept blå har en anslutning för inflödet och en för utflödet. Dessa är placerade på sidan av locket så nära hörnen som möjligt utan att påverka viktiga delar av den befintliga produkten. Beträffande ledningen av minikanalerna så leds dessa i ett slingrande mönster ner över cellernas basytor för att sedan ledas rakt upp på en sida av blocket. De ändringar som krävs på den befintliga konstruktionen för att kunna använda konceptet är två hål i topplocket för att kunna leda in och ut kylmediet i modulen.



Figur 4.10: Koncept blå

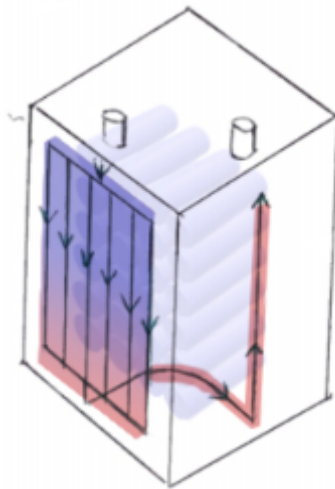
Koncept röd: Koncept röd består av ett rektangulärt block med rektangulära minikanaler precis som de andra koncepten i den första konceptgenereringen och kan ses i figur 4.11. De två anslutningarna för in- och utflödet är placerade i mitten av locket på samma sida som blocket är placerat. Kylkanalen för kylvätskan är uppdelad så att den leds ner i halva blocket för att sedan ledas upp i andra halvan. De ändringar som krävs på den befintliga konstruktionen för att använda konceptet liknar de tidigare. Det behövs två hål i topplocket för att kunna leda in och ut kylmediet i modulen.



Figur 4.11: Koncept röd

Koncept lila: I det fjärde och sista genererade konceptet leds kylmediet ner i ett rektangulärt block på en sida i modulen för att sedan leda ut det i toppen på den närliggande sidan. Detta sker genom att man i botten av modulen leder kylkanalen genom ett hål i plåten och i cellhållaren över till den andra närliggande sidan för att sedan leda upp den till locket. Kylkanalen i blocket är precis som de andra rektangulärt utformad för att maximera den värmeöverförande arean för kylmediet. Den kanal som leder kylmediet in och ut ur modulen består av ett ellipsliknande tvärsnitt. Genom att använda ett ellipsliknande tvärsnitt erhålls en större area på tvärsnittet som leder kylmediet än om till exempel ett cirkulärt tvärsnitt hade använts, vilket möjliggör ett större massflöde in i kylblocket. De två anslutningarna för in- och utflödet är placerade i mitten av locket på samma sida som blocket är placerat i modulen.

Gällande de ändringar som krävs för att få in konceptet i modulen krävs det fortfarande två hål i topplocket för att kunna leda in och ut kylmediet, men nu tillkommer ytterligare en ändring. För att kunna leda ut kylmediet på en av kylblockets närliggande sidor behövs ett hål i plåt och cellhållare. Alternativt kan ledningen för utflödet från blocket ledas under plåten, vilket skulle medföra ett mindre antal ändringar. Diametern på ledningen kan då endast vara 3 millimeter, men genom att öka höjden på modulens ytterhölje och på höjden på ribborna i bottenlocket innebär detta att en större diameter på ledningen skulle kunna få plats under plåten. Koncept lila kan ses nedan i figur 4.12.



Figur 4.12: Koncept lila

4.3 Utvärdering av konceptgenerering ett

Syftet med detta avsnitt är att presentera resultatet av utvärderingsprocessen för de framtagna koncepten i den första konceptgenereringen. Inledningsvis framförs resultatet av den relativa beslutsmatrisen samt därefter resultatet av viktbestämningen och slutligen resultatet av kriterieviktmatrisen.

4.3.1 Relativ beslutsmatris

I detta avsnitt presenteras resultatet av den inledande delen av utvärderingsprocessen, relativ beslutsmatris.

Tabell 4.2: Pughmatris ett

Chalmers	Pughmatris - kylutrustning					
Utfärdare: Martin Karlsson, Gustav Bornhall	Referenslösning			Skapad: 2019-04-04		
Kriterier:	Lila	Koncept:				
		Grön	Blå	Röd		
Minimera antalet och storleken på ändringarna, A		+	+	+		
Minimera tryckfall i kylkanalerna, B		0	-	0		
Överföra värme, C		0	0	0		
Ge jämn temperaturfördelning, D		-	-	-		
$\Sigma+$		1	1	1		
$\Sigma 0$		2	1	2		
$\Sigma -$		1	2	1		
Nettovärde		0	-1	0		
Rangordning		1	2	1		

Efter utvärderingen med den första pughmatrisen, som presenteras ovan i tabell 4.2, är koncept grön och röd lika bra som lila, därefter placerar sig koncept blå i rangordningen. Med tanke på detta samt att rangordningen av de tre koncepten skiljer sig med endast ett nettovärde, tyder det på att koncepten bör utvärderas ytterligare.

Vid valet av de kriterier som i Pughmatrisen användes för att utvärdera de genererade koncepten, togs inte alla 14 önskemål/kriterier från kravspecifikationen med. Resterande tio önskemål ansågs av olika anledningar ej lämpliga vid utvärderingen. Önskemålen under material-, produktlivscykel- och viktkriteriet är direkt kopplade till ett materialval och kan då inte tas hänsyn till i utvärderingsprocessen eftersom koncepten inte innefattar specifika material. Likaså finns inga valda tillverkningsmetoder för respektive koncept och den av arbetsgruppen önskade ytfinheten togs därför inte med. Önskemålet att minimera tillverkningskostnaden inkluderades ej vid utvärderingen av samma anledning. Anledningen till varför kyleffekten och massflödet inte togs med, är för att arbetsgruppen ansåg att det var svårt att förutsäga hur ett flöde beter sig i kanaler med små dimensioner.

Tabell 4.3: Pughmatris två

Chalmers	Pughmatris - kylutrustning				
Utfördare: Martin Karlsson, Gustav Bornhall	Referenslösning	Skapad: 2019-04-04			
Kriterier:	Grön	Koncept:			
		Lila	Blå	Röd	
Minimera antalet och storleken på ändringarna, A		-	+	+	
Minimera tryckfall i kylkanalerna, B		0	-	0	
Överföra värme, C		0	0	0	
Ge jämn temperaturfördelning, D		+	-	0	
$\Sigma+$		1	1	1	
$\Sigma 0$		2	1	3	
$\Sigma -$		1	2	0	
Nettovärde		0	-1	1	
Rangordning		2	3	1	

Den vidare utvärderingen av koncepten, nu med en ny referenslösning, presenteras ovan i tabell 4.3. Även i denna pughmatrisen hamnar koncept röd i topp, vilket tyder på att just det konceptet kanske är bäst. Nettovärdet för det högsta, respektive lägsta rangordnade konceptet i utvärderingen, skiljer sig nu med nettovärdet två, vilket är lågt. Trots det att man enligt pughmatrisen fått en indikator på vilket av de genererade koncepten som skulle kunna vara det bästa, bör koncepten utvärderas ytterligare.

4.3.2 Viktbestämningssmatris

Viktbestämningens resultat framförs i detta avsnitt där varje kriteriums viktighet fastställs utifrån företagets prioritering.

Tabell 4.4: Viktbestämningssmatris

Kriterium	A	B	C	D	E	Sum	Sum/Tot
Minimera antalet och storleken på ändringar, A	-	1	0,5	0,5	1	3	0,30
Minimera tryckfall, B	0	-	0	0,5	1	1,5	0,15
Överföra värme, C	0,5	1	-	0,5	1	3	0,30
Jämn temperaturfördelning, D	0,5	0,5	0,5	-	1	2,5	0,25
Tot						10	1

Viktbestämningssmatrisen i tabell 4.4 ovan visar att kriterium A (minimera antalet och storleken på ändringar) och C (överföra värme) anses vara viktigast för konceptframtagningen av kylutrustningen. Näst viktigast är kriterium D (jämn temperaturfördelning) och därefter B (minimera tryckfall). I tabell 4.5 visas de skalade viktfaktorerna som genomfördes för att underlätta utvärderingen i kriterieviktssmatrisen.

4. Resultat

Tabell 4.5: Skalade vikt faktorer

Kriterium	Sum/Tot = σ_i	Skala 1 - 5 Viktfaktor (w_i)	Skala 1 - 10 Viktfaktor (w_i)
Minimera antalet och storleken på ändringar, A	0,30	5	10
Minimera tryckfall, B	0,15	3	5
Överföra värme, C	0,30	5	10
Jämn temperaturfördelning, D	0,25	4	8

4.3.3 Kriterieviktmatris

Det slutliga resultatet av utvärderingsprocessen presenteras i detta avsnitt.

Tabell 4.6: Kriterieviktmatris (kesselring)

Kriterium	Konceptalternativ										
		Ideal		Grön		Blå		Röd		Lila	
	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Minimera antalet och storleken på ändringar, A	10	10	100	8	80	9	90	9	90	7	70
Minimera tryckfall, B	5	10	50	7	35	6	30	7	35	8	40
Överföra värme, C	10	10	100	6	60	6	60	6	60	6	60
Jämn temperaturfördelning, D	8	10	80	7	56	6	48	5	40	8	64
$T = \sum t_j$		330		231		228		225		234	
T/T_{max}		1,00		0,70		0,69		0,68		0,71	
Rangordning		-		2		3		4		1	

Efter utvärderingen med kriterieviktmatrisen, som visas i tabell 4.6 ovan, kan ett koncept-val genomföras. Matrisen visar att rangordningen blev enligt följande: 1:a plats koncept lila, 2:a plats koncept grön, 3:e plats koncept blå och 4:e plats koncept röd. Som synes av rangordningen blev koncept lila det bästa alternativet och väljs som det slutgiltiga konceptet.

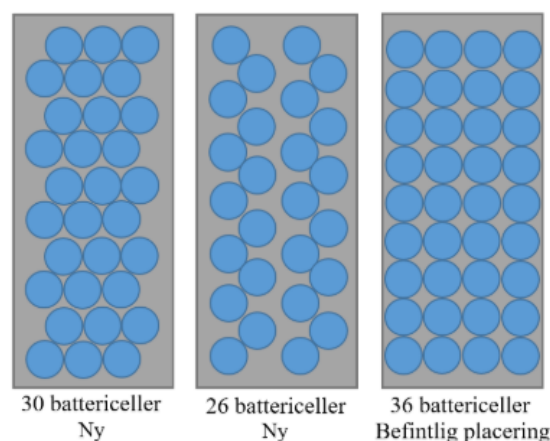
4.4 Den andra konceptgenereringen

I avsnittet presenteras resultatet från den andra konceptgenereringen. Nedan presenteras den morfologiska matrisen och de genererade koncepten.

Delsystem	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3	Lösning 4	Lösning 5	Lösning 6	Lösning 7	Lösning 8	Lösning 9
Ledning av kylkanal	Ledning 1 	Ledning 2 	Ledning 3 	Ledning 4 	Ledning 5 	Ledning 6 			
Placering av kylkanal	En sida 	Två motsatta sidor 	Två närliggande sidor 	Åtta långsidor 	Centrum 	Tre sidor 			
In och utflöden placering	Mitten av kant 2 	Hörn 	Mitten av kant 3 	Kant + hörn 	Centerade 	Centrum kanaler 	Centrum kant 	Centrum närliggande kanter 	Centrum alla kanter
Värmeöverförande komponent	Block 	Panel 	Cellomslutning 	Kylkanal 					
Tvårsnitt kylkanal	Cirkulär 	Ellips - en kanal 	Ellips - flera kanaler 	Cirkulär, räfflig insida 	Ellips - räfflig insida 	Rektangulär 	Rektangulär 	Ellips, rektangulära kanaler 	Ellips, cirkulära kanaler

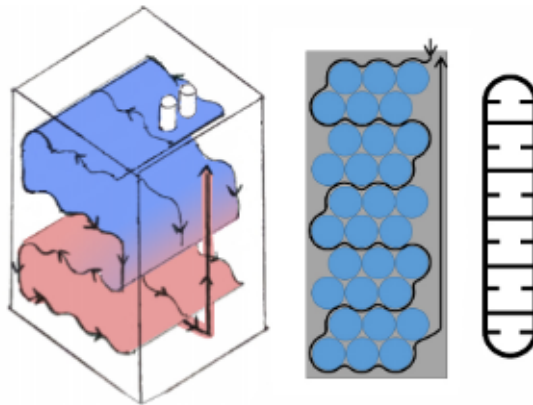
Figur 4.13: Morfologisk matris 2

Utöver den första och huvudsakliga konceptgenereringen presenteras ovan i figur 4.13 ett antal genererade koncept som tillåter att man öppnar upp en frihetsgrad av förändringar på den befintliga konstruktionen. Följande koncept bygger på att en omplacering av battericellerna genomförs på ett sådant sätt att profilen på modulens ytterhölje inte ändras. Ändringen medför en omkonstruktion av cellhållare och plåt då battericellerna flyttas isär samt en ökning av höjden på ytterhöljet. Höjden på ytterhöljet måste ökas om energitätheten hos litiumbatteriet ska behållas. I figur 4.14 nedan illustreras ett exempel på denna omplacering, där det tydligt kan ses att antalet battericeller minskar (och även energitätheten) om höjden på ytterhöljet inte ändras. Dessa ändringar inkluderas i följande koncept: svart, grå, turkos och gul.



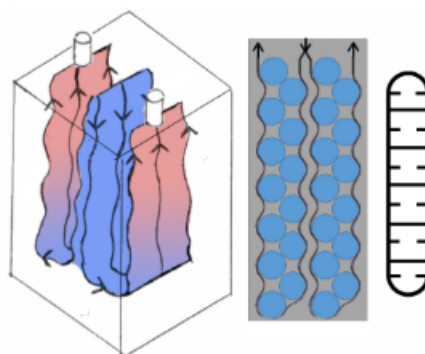
Figur 4.14: Exempel på omplacering av battericeller

Koncept svart: Med koncept svart kyls batteriet via direkt kontakt med battericellerna. Kylmediet leds i en kanal med ett ellipsliknande tvärsnitt med interna kanaler och fenor. Kanalen leds sick-sack i modulen, från toppen till botten, med två rader av battericeller mellan kylkanalen (som figur 4.15 visar). Den leds sedan ut vid en av battericellernas långsidor i en ledning med cirkulärt tvärsnitt. Eftersom kylkanalen placeras mellan battericellerna, som i den befintliga produkten endast har en millimeters mellanrum mellan varandra, krävs det att man skapar mer plats mellan cellerna på höjden. Omplaceringen av battericellerna kan ses i figur 4.14. Precis som tidigare krävs hål topplocket för in- och utflödet av kylmediet.



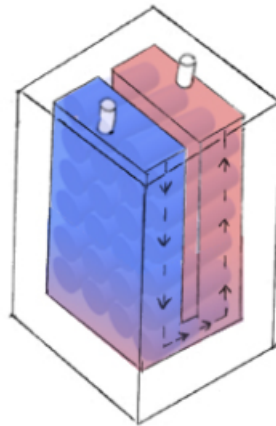
Figur 4.15: Koncept svart, ledning av den ellipsliknande kylkanalen med omplacering av battericeller

Koncept grå: Koncept grå bygger på samma princip som koncept svart och kan ses i figur 4.16. I det här konceptet leds kylmediet in i två kylkanaler (med ellipsliknande tvärsnitt) i mitten av de fyra kolonnerna med battericeller. Kylmediet leds sedan till botten av modulen och sedan tillbaka till toppen via kolumnernas ytterkanter. Det krävs även två hål i topplocket, ett för inflödet och ett för utflödet.



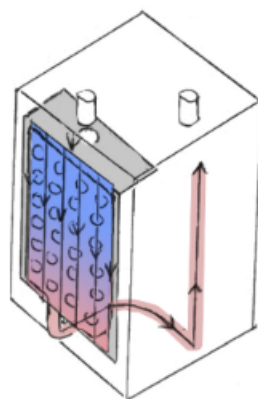
Figur 4.16: Koncept grå, ledning av den ellipslikande kylkanalen med omplacering av battericeller

Koncept turkos: Koncept turkos består av en cellomslutande kylning. Det placeras ett block med hål för battericellerna i mitten av modulen. Kylmediet transporteras med en intern kylkanal i det cellomslutande blocket, kylmediet leds enligt figur 4.17. Det krävs även två hål i topplocket, ett för inflödet och ett för utflödet.



Figur 4.17: Koncept turkos, ledning av kylkanalen i den cellomslutande kylutrustingen

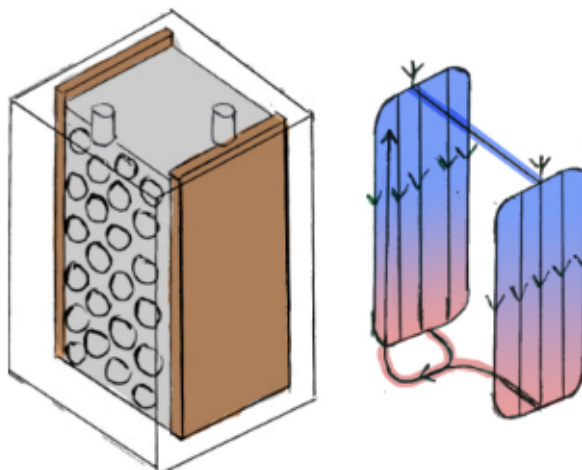
Koncept rosa: För koncept rosa har man valt att göra en omkonstruktion av batterimodulens ena plåt, kylkanaler integreras nu i plåten. Kylkanalernas geometri blir ett hexagonliknande tvärsnitt. För att kunna leda ut kylmediet på en närliggande sida till plåten krävs det att man gör ett hål i cellhållarens nedre kant. Alternativt kan höjden på modulens ytterhölje ökas så att ledningen får tillräckligt med utrymme under cellhållaren. Det krävs även två hål i topplocket, ett för inflödet och ett för utflödet enligt figur 4.18.



Figur 4.18: Koncept rosa, ledning av kylkanal i omkonstruerad aluminiumplåt

Koncept gul: Koncept gul består av två block med interna kanaler som är sammankopplade med en cellomslutande solid som figur 4.19 visar. De två blocken visas i färgen brunt och soliden i färgen grått. Värmen som alstras i battericellerna under laddningen leds till blocken via soliden för att sedan tas upp av kylmediet. Kylmediet leds ner i batterimodulen på två av kanterna längs med battericellernas långsidor i de två blocken. Det leds

sedan ut ur blocken genom en kanal med cirkulärt tvärsnitt för att sedan ledas upp och ut på modulens ena sida. Två hål i topplocket behövs, ett för inflödet och ett för utflödet enligt figur 4.19.

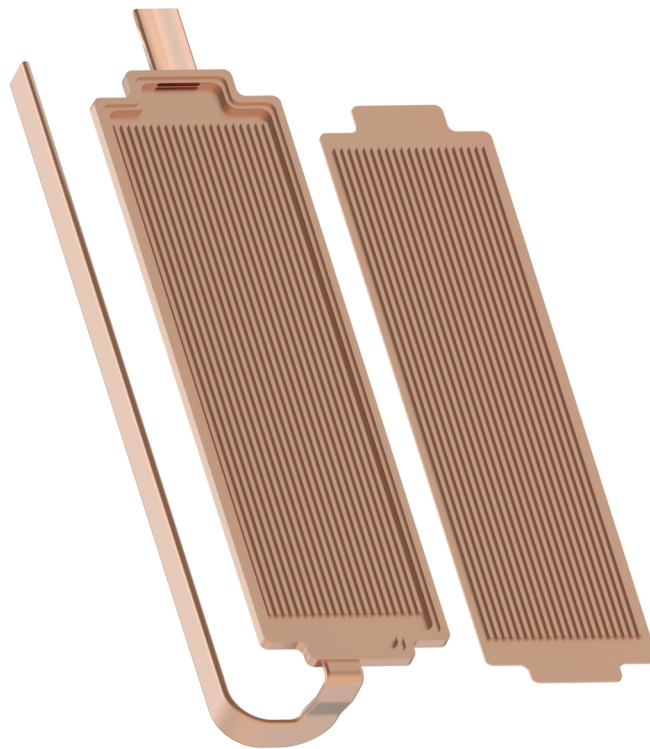


Figur 4.19: Koncept gul, värmeledande solid med kylning vid sidorna

4.5 Detaljkonstruktion och materialval för valt koncept

I avsnittet presenteras resultatet från detaljkonstruktion och materialval för det valda konceptet.

Kylutrustningen består av 3 delar, kylblock, lock och tillhörande rörledningar som kan ses i figur 4.20. Genom att tillverka kylblocket och dess lock separat, underlättas tillverkningen av kanalerna med tanke på det relativt komplexa kanalsystemet, som då kan tillverkas med fräsning eller vakuumlödning. Anledningen till att kylblocket inte fick en helt rektangulär form, är för att topp- och bottenlocket har plastflänsar som håller aluminiumplåtarna på plats vilket kan ses i figur 4.2. Detta medförde att ett utrymme för dessa fick lämnas. De inre lika stora, rektangulära kanalerna, är placerade i kylblocket med ribbor mellan varje kanal som separera kylmediet. Halva höjden på dessa ribbor är placerad i locket till kylutrustningen, för att göra locket mer styvare mot utböjning vid belastning. Ett urtag för locket har gjorts i kylblocket för att en skarv inte ska bildas mellan delarna. Gällande de hål som ska leda in och ut kylmediet, är dessa placerade i toppen och botten av kylblocket, som figur 4.20 visar. Det nedre hålet är placerat mer åt vänster i förhållande till den longitudinella symmetriaxeln. Detta på grund av att modulens bottenlock begränsar utrymmet för anslutningen för utflödet. Det bekräftades även att den slutliga konstruktionen av kylutrustningen är kompatibel med den befintliga produktens komponenter genom att en sammanställning av alla komponenter gjordes i Catia V5. Detta kan ses i figur 4.21.



Figur 4.20: Renderad CAD-modell av kylutrustningen med lock och tillhörande rörledning

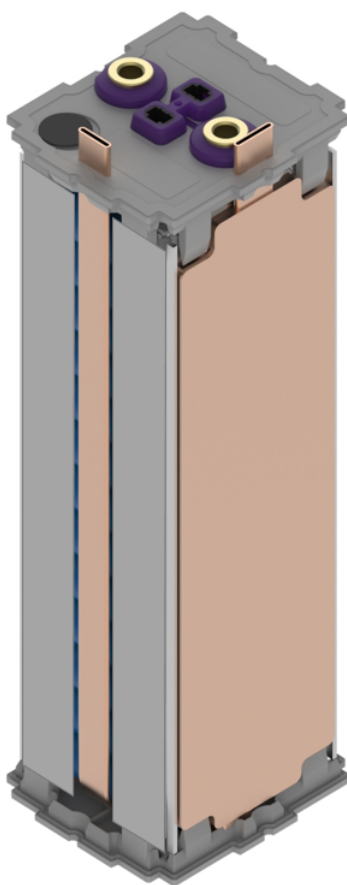
Genom att lista materialens termiska ledningsförmåga i förhållande till dess pris per kilo, i kombination med de på materialet ställda kraven, som var svetsbarhet, en termisk ledningsförmåga på minst $300 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ och återvinningsbarhet återstår endast 42 av de tidigare 3985 materialen. Materialgrupperna för de återstående materialen är koppar, guld och silver. Guld och silver elimineras på grund av den höga materialkostnaden och 19 olika varianter av koppar med olika typer av legeringar och värmebehandlingar återstår.

Resultatet av att studera de olika typerna av koppars termiska ledningsförmåga kan det elimineras ytterligare tolv material. De återstående sju materialen har samma termiska ledningsförmåga. Resultatet av att studera de återstående materialens förmåga att bearbetas är att man kan eliminera fem material och står nu inför det slutgiltiga valet. De material som nu elimineras är de mjukare varianterna av koppar, eftersom att mjukt lättbearbetade långspånande material kan förorsaka spånstockningar [25]. De två slutgiltiga materialen är: Copper C10100 hard (electrolytic tough-pitch h.c. copper) och Copper C10200 hard (oxygen-free h.c. copper). De återstående två materialen är näst intill identiska i dess egenskaper och båda materialen fungerar lika bra. Via resonemanget att båda materialen är lika bra, har Copper C10100 hard (electrolytic tough-pitch h.c. copper) valts, eftersom att den enligt CES verkar mer vanligt förekommande. C10100 har en termisk ledningsförmåga mellan $390 - 398 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ och detta är på grund av att materialet är en ren kopparlegering med 99,9 % av grundmaterialet koppar där de resterande 0,1 procenten består av orenheter.. Materialet C10100, har även ett på ungefär $17 \mu/^\circ\text{C}$, vilket inte anses vara betydande för värmeutvidgningen av kylutrustningen. Vid en temperaturförhöjning på 25

4. Resultat

°C i kombination med för materialet erhålls en ökning av tjockleken på kylblocket med enbart 0,0019 millimeter. Detta anses som förhållandevis lite i jämförelse med de toleranser som satts på de yttre måtten för kylutrustningen på mellan 0,1 och 1 millimeter.

Nedan i figur 4.21 presenteras den slutgiltiga konstruktionen av kylutrustningen, integrerad i batterimodulen. Antalet förändringar på den befintliga konstruktionen som designen kräver, har enligt Catia V5 bekräftats till att vara minimala. De ändringar som krävs för att integrera kylutrustningen i en modul är endast två hål i topplocket. Vid detaljkonstruktionen har man valt att utforma kylutrustningen på ett sådant sätt att antalet ändringar minimeras. Antalet ändringar minimeras genom att leda kanalen ut från kylblocket under plåten som tidigare nämnt för koncept lila.



Figur 4.21: Rendering av den slutgiltiga konstruktionen av kylutrustningen integrerad i batterimodulen, utan ytterhölje. Delvis censurerad på grund av sekretess

5

Slutsatser och rekommendationer

Arbetet har resulterat i ett lösningsförslag till en kylutrustning för batteriföretagets litiumbatterimodul, där antalet och storleken av ändringarna på den befintliga produkten minimerats. För att kylutrustningen ska erhålla bästa möjliga egenskaper och leverera en god kyleffekt samt även möjliggöra en laddning av två gånger batteriets kapacitet, har kylutrustningen dimensionerats baserat på teori och rimliga antaganden. En minimering av laddningstiden och en begränsning av temperaturökningen i modulen kommer att ske. Frågan är hur väl den konstruerade kylutrustningen utför sin funktion, vilket kan besvaras med en simulering eller att en prototyp tillverkas för att praktiskt kunna testa och göra uppmätningar av kylförmågan.

För att maximera den värmeöverförande arean har kylutrustningen konstruerats för att optimera kontakten med värmekällan i batterimodulen, det vill säga plåten där battericellernas minuspoler kopplas samman. Kontakten optimeras genom att kylblocket får en så stor kontaktyta med värmekällan som möjligt. Även den värmeöverförande arean i kanalerna och således värmeöverföringen till kylmediet har optimerats i den rektangulära volymen i kylblocket genom att ett rektangulärt tvärsnitt har valts. Beträffande kylmediet väljs lämpligtvis något som är kompatibelt med det material som har valts för kylblocket samt som klarar av en lägsta temperatur på $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. En glykol-vattenlösning med 50 % glykol skulle fungera väl för kylutrustningen [11]. Dock så bör vatten med en hög kvalitet användas eftersom det annars kan resultera i att kylutrustningens prestanda försämras med tiden då avlagringar bildas i kanalerna. Detta på grund av de orenheter som kan förekomma i vattnet såsom mineraler, salter och klorider i kombination med en hög temperatur och en låg flödes hastighet på kylmediet.

Den elektriskt isolerande filmen mellan kylblocket och plåten väljs som lämpligtvis en kapton film från företaget DuPont. Kapton filmen har en tjocklek som varierar mellan 0,025 - 0,125 millimeter samt en termisk ledningsförmåga på $0,8\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ och en dielektrisk styrka på 5 kV/mil [7]. Eftersom att kapton filmens termiska ledningsförmåga är låg och den dielektriska styrkan hög i jämförelse med kylblocket, skulle detta kunna hämma den värmeöverföring företaget söker. Ett alternativ hade varit att använda en icke-ledande vätska, exempelvis en dielektrisk fluid och även isolera kylblocket från anslutningarna i toppen av modulen. Detta kan lämpligtvis lösas genom att rörledningen till- och från kylblocket tillverkas i ett isolerande material. Den dielektriska fluiden Flourinert, som i arbetet studerats, är dyrare och har tre gånger sämre värmelagringsförmåga än en glykol-vattenlösning [11]. Vilket betyder att en utvärdering av denna alternativa lösningen behöver genomföras.

Materialvalet för kyltrustningen och dess tre komponenter, kylblock, lock och rörledning resulterade i en ren kopparlegering med 99,9 % av grundämnet koppar. Med ett värmeledningstal på $398 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, utmärkt svetsbarhet, goda egenskaper för fräsning och vanligt förekommande i kylapplikationer, kommer materialet C10100 fungera väl för det slutgiltiga konceptet. Beträffande temperaturutvidgningskoefficienten för materialet anses töjningen av komponenterna, som sker till följd av en temperaturökning, som ej dimensionerande för detaljkonstruktionen. Anledningen till detta är att vi berör relativt små temperaturskillnader och att materialets töjning anses som förhållandevis liten i jämförelse med de toleranser som satts på de yttre måtten för kyltrustningen. Det krav som ställdes på materialet i form av återvinningsbarhet, samt det faktum att alla komponenter tillverkas i samma material, resulterar i att kyltrustningen med enkelhet kan återvinnas.

Genom att integrera den konstruerade kyltrustningen i batteriföretagets batterimoduler, sker en reducering av laddningstiden och livslängden för litiumbatterierna förlängs. Den ökade livslängden hos batterierna anses förmånlig ur ett hållbarhetsperspektiv eftersom användaren kan nyttja produkten under en längre tidsperiod.

Eftersom att detta arbetet fokuserar på en generering av olika koncept, har avgränsningar från att utföra en simulering av den slutgiltiga designens kylförmåga fastställts. Då kylförmågan är den prestandaparameter som är mest intressant för kyltrustningen, är det något som bör simuleras innan det faktiskt tillverkas en prototyp. Via simuleringen bör temperaturfördelningen i batterimodulen och kyltrustningens kylförmåga studeras, där dimensionerna för kylkanalerna optimeras genom att en balans mellan tryckfallet och värmeöverförande arean erhålls.

Vidare bör det även studeras hur ett komplett kylsystem ska konstrueras för ett batteripaket med exempelvis de ingående komponenterna: pump, värmeväxlare, eventuella snabbkopplingar, slangar och reservoar för kylmediet.

Litteraturförteckning

- [1] J. Park, Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries, Weinheim, 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=943094>, hämtad: 2019-03-05.
- [2] G. Pistoia, Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications, Elsevier, 2013. [Online]. Tillgänglig: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=1583621>, hämtad: 2019-03-06.
- [3] S. Jacobson, *Elteknik*. Göteborg, Sverige: Chalmers Lindholmen Institutionen för signaler och system.
- [4] T. Bandhauer, S. Garimella och T. Fuller, "A Critical Review of Thermal Issues in Lithium-Ion Batteries," I Journal of The Electrochemical Society. [Online]. Tillgänglig: <http://jes.ecsdl.org/content/158/3/R1.full>, hämtad: 2019-03-09.
- [5] C. Glaize och S. Genies, Lithium Batteries and Other Electrochemical Storage Systems, Somerset, 2013. [Online]. Tillgänglig: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=1323957>, hämtad: 2019-03-12.
- [6] Y. A. Cengel, J. Cimbala och R. H. Turner, *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*. 5 uppl., New York, USA: McGraw-Hill Education, 2017.
- [7] *DuPont Kapton Summary of Properties*, USA: DuPont, 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.dupont.com/content/dam/Dupont2.0/Products/Electronics-and-imaging/Literature/DEC-Kapton-summary-of-properties.pdf>, hämtad: 2019-05-13.
- [8] DuPont, USA, "High performance thermally conductive polyimide film," 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.dupont.com/products/kapton-mt-plus.html>, hämtad: 2019-05-03.
- [9] R. N. P Choudhary, S. K Patri, Dielectric Materials: Introduction, Research Applications. [Online]. Tillgänglig: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/reader.action?docID=3019905>, hämtad: 2019-05-03.
- [10] S. Mohapatra, "An overview of liquid coolants for electronics cooling," 2006. [Online]. Tillgänglig: <https://www.electronics-cooling.com/2006/05/an-overview-of-liquid-coolants-for-electronics-cooling>, hämtad: 2019-05-03.
- [11] Lytron Inc., Woburn, MA, USA, "The best heat transfer fluids for liquid cooling," 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.lytron.com/Tools-and-Technical>

- Reference/Application-Notes/The-Best-Heat-Transfer-Fluids-for-Liquid-Cooling, hämtad: 2019-05-03.
- [12] Lytron Inc., Woburn, MA, USA, "Reducing contact thermal resistance," 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.lytron.com/Tools-and-Technical-Reference/Application-Notes/Reducing-Contact-Thermal-Resistance>, hämtad: 2019-05-16.
- [13] T. Dahlberg, *Teknisk hållfasthetslära*. 3 uppl., Lund, Sverige: Studentlitteratur AB, 2001.
- [14] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, *Produktutveckling: effektiva metoder för konstruktion och design*. 2 uppl., Stockholm, Sverige: Liber, 2013.
- [15] E. Musk, "All Our Patent Are Belong To You," 2014. [Online]. Tillgänglig: https://www.tesla.com/sv_SE/blog/all-our-patent-are-belong-you, hämtad: 2019-01-25.
- [16] Extruded and Ribbed Thermal Interface for use with a Battery Cooling System, av P. T. Tennessen. J. C. Weintraub. W. A. Hermann. (2014, 24 juni). US20110212356A1 [Online]. Tillgänglig: <https://patents.google.com/patent/US20110212356>, hämtad: 2019-03-04.
- [17] Liquid cooling manifold with multi-function thermal interface, av W. A. Hermann. (2010, 29 april). US20100104938A1 [Online]. Tillgänglig: <https://patents.google.com/patent/US20100104938A1/en>, hämtad: 2019-03-05.
- [18] Lytron Inc., Woburn, MA, "Cold plates meet demanding contact cooling requirements," 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.lytron.com/Cold-Plates>, hämtad: 2019-05-03.
- [19] Aavid, Thermal Division of Boyd Corporation, "Product overview," [Online]. Tillgänglig: <https://www.shopaavid.com/Product/416601U00000G>, hämtad: 2019-03-01.
- [20] National Bronze MFG., Michigan, "C11000 ETP Copper Bar/ C110 Copper/ ETP C110," [Online]. Tillgänglig: http://www.nationalbronze.com/C11000_ETP_Copper.php, hämtad: 2019-02-19.
- [21] Lytron Inc., Woburn, MA, USA, "Vacuum brazing of Aluminium Cold Plates and Heat Exchangers," 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.lytron.com/Tools-and-Technical-Reference/Application-Notes/Aluminum-Vacuum-Brazing>, hämtad: 2019-03-11.
- [22] Kinto Electric CO, "PRODUCT DETAILS," [Online]. Tillgänglig: <http://www.chinakinto.com/product/html/113.html>, hämtad: 2019-02-05.
- [23] Rubanox, "Technology," [Online]. Tillgänglig: <https://www.rubanox.com/en/rubanox-en/technology>, hämtad: 2019-02-15.
- [24] Medical cold plate PF47, Domene, Frankrike: Atherm. [Online]. Tillgänglig: https://www.atherm.com/wp-content/uploads/2017/02/RE_FT-1.pdf, hämtad: 2019-05-08.
- [25] L Hågeryd, S Björklund, M Lenner, *Modern Produktionsteknik: Del 1*. 2 uppl., Stockholm, Sverige: Liber AB, 2002.

A

Bilaga - Tabell litiumbatteriets ingående komponenter och dess funktioner

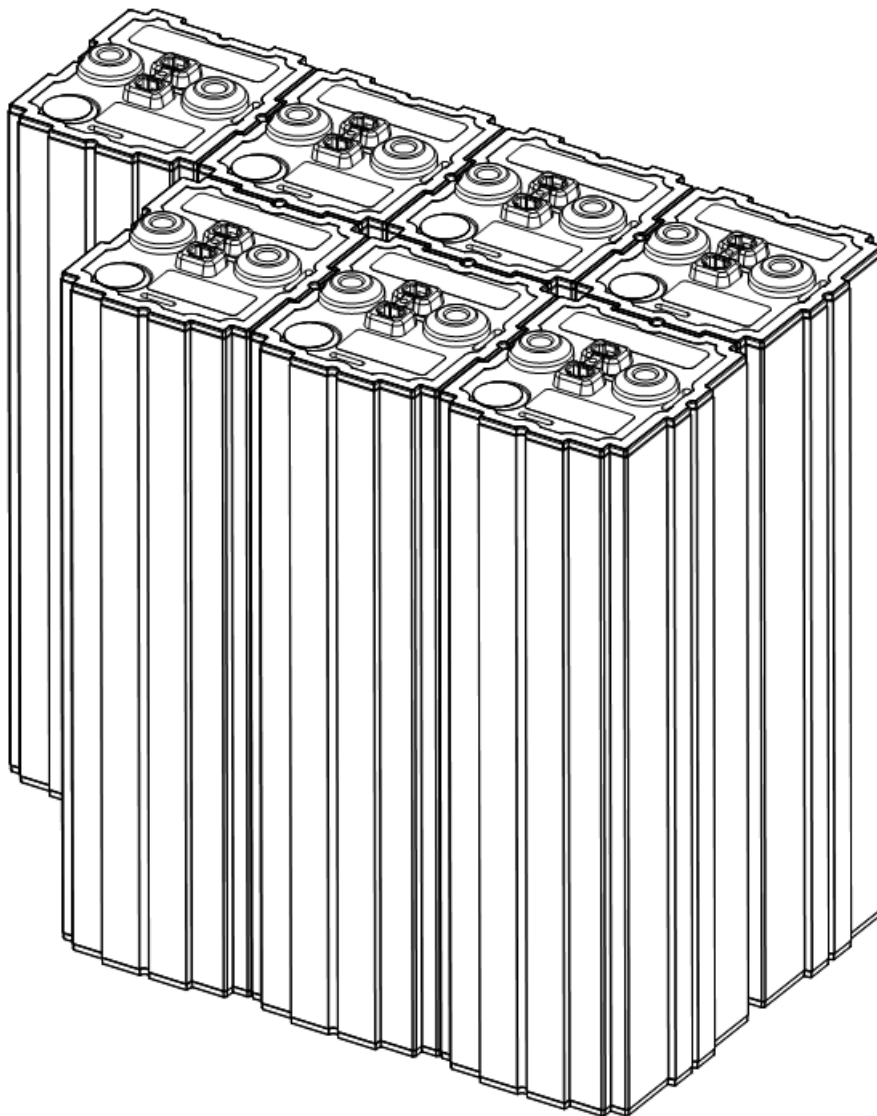
Komponent	Funktion
Battericell	Lagra energi i batterimodulen
Cellhållare	Fixera battericellerna
Plåt i aluminium	Binda samman battericellernas plus och minuspoler
Topplöck	Skydda övriga komponenter mot fukt och stötar
Bottenlock	Skydda övriga komponenter mot fukt och stötar
Kretskort och (BMS)	Reglera mängden ström som kan tas emot vid laddning och urladdning
Ytterhölje	Skydda övriga komponenter mot fukt och stötar

A. Bilaga - Tabell litiumbatteriets ingående komponenter och dess funktioner

B

Bilaga - Batteripaket

Denna bilaga visar hur sju litiumbatterimoduler kan positioneras för att sedan kopplas samman till ett större litiumbatteri med en högre kapacitet och högre spänning.



Figur B.1: Batteripaket

C

Bilaga - Frågemetoden

Vad är problemet?

Problemet är den höga temperaturen i battericellerna vid snabbladdning.

Vad orsakar problemet?

Vid snabbladdning ökar man kapaciteten på laddningen, det vill säga mängden tillförd ström, vilket leder till att resistansvärmen och den kemisk reaktionsvärmen ökar vid laddningen.

Vilka konsekvenser medför problemet?

Den höga temperaturen reducerar battericellernas livslängd och påverkar dess prestanda negativt. Om battericellerna uppnår kritiska temperaturer, stängs laddningen av vilket resulterar i en ofullständig laddningsprocess.

Hur löser man problemet i dagsläget?

I dagsläget reglerar man strömtillförseln vid laddningen via batterimodulens battery management system (BMS), för att inte uppnå kritiska temperaturer i battericellerna.

Hur planerar man att lösa problemet i framtiden?

Batteriföretaget planerar att konstruera och integrera en kylutrustning i batterimodulerna som ska möjliggöra en högre strömtillförsel utan att erhålla kritiska temperaturer i battericellerna.

D

Bilaga - Kravspecifikation

Denna bilaga presenterar den slutgiltiga kravspecifikationen för kylutrustningen. De kriterier i kravspecifikationen vars målvärde inte är självklara redogörs för nedan.

- Målvärdet för jämn temperaturfördelning, vikten och massflödet är givna från kunden.
- Tryckfallet är baserat på variant 4 i avsnitt 4.2.1 eftersom storleken på kylutrustningens kanaler är lik denna.
- Målvärdet på kylutrustningens värmeöverförande area är satt baserat på den ytan av värmekällan som är tillgänglig att kyla på.
- Teorin om termisk resistans i avsnitt 2.5.3 ligger till grund för målvärdet på ytfinheten för kylutrustningen.
- Temperaturlösligheten kommer ifrån kundens produktkatalog där man listat ett temperaturintervall som en batterimodul ska tåla att fraktas inom.

Examensarbete Chalmers Tekniska Högskola		Kravspecifikation - Kylutrustning				
Utfärdare: Gustav Nilsson Bornhall, Martin Karlsson		Skapad: 2019-03-10 Modifierad: 2019-04-17				
Nr	Kriterier	Målvärde	K=krav O=önskemål	Vikning	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)
1.	Prestanda					
1.1	Kyleffekt	$\geq 45W$	O	3	Simulering/provning	Företaget
1.2	Jämn temperaturfördelning mellan battericeller	$\Delta T \leq 7 \text{ }^\circ\text{C}$	O	4	Simulering/provning	Företaget
1.3	Tryckfall	$\leq 0,2 \text{ MPa}$	O	4	Simulering/provning	Arbetsgruppen
1.4	Överföra värme från värmekälla	$0,013 \text{ m}^2$	O	4	CAD	Arbetsgruppen
1.5	Massflöde	$\geq 0,5 \text{ l/min}$	O	3	Simulering/provning	Företaget
1.6	Temperaturlöslighet	$65 \geq T \geq -35 \text{ }^\circ\text{C}$	K		Provning	Företaget
2.	Livslängd					
2.1	Livslängd på komponenter	Samma som batteriet	K		Provning	Företaget
3.	Underhåll					
3.1	Underhållsfritt	Låg fouling faktor	K		Provning	Företaget
4.	Tillverkning					
4.1	Ytfinhet värmeöverförandekomponent	$0,8 \leq R_a \leq 1,6 \text{ } \mu\text{m}$	O	2	Uppmätning	Arbetsgruppen
5.	Tillverkningskostnad					
5.1	Minimera tillverkningskostnad	låg tillverkningskostnad	O	1		Företaget
6.	Storlek och form					
6.1	Höjd	$h < 278 \text{ mm}$	K		CAD/uppmätning	Arbetsgruppen
6.2	Bredd	$b < 75 \text{ mm}$	K		CAD/uppmätning	Arbetsgruppen
6.3	Djup	$d < 4,75 \text{ mm}$	K		CAD/uppmätning	Arbetsgruppen
6.4	Integrerbar i batterimodul (kylutrustningen ska vara integrerbar utan att göra några större ändringar)	fä och små ändringar	O	5	CAD	Företaget
7.	Vikt					
7.1	Minimera vikt	$< 0,700 \text{ kg}$	O	2	Uppmätning	Företaget
8.	Material					
8.1	Värmeledningsförmåga	Högt k	O	4	Materialval	Arbetsgruppen
8.2	Värmelagringsförmåga	Lågt Cp	O	4	Materialval	Arbetsgruppen
8.3	Termisk diffusivitet	Hög termisk diffusivitet, α	O	4	Materialval	Arbetsgruppen
8.4	Temperaturutvidgningskoefficient	Lågt	O	3	Beräkning	Arbetsgruppen
9.	Produktlivscykel					
9.1	Återvinningsbarhet	100% återvinningsbar	O	2	Demontering/sortering av material	Företaget
10.	Kvalitet och tillförlitlighet					
10.1	Läckagerisk	Kyla battericeller utan läckage	K			Företaget
11.	Säkerhet					
11.1	Elektriskt isolerat	Från all elektrisk ström i batterimodulen	K		Uppmätning	Företaget
11.2	Kortslutning	Ej tillåta kortslutning av battericeller	K			Företaget

Figur D.1: Kravspecifikation

E

Bilaga - Sällning av lösningalternativ i den första morfologiska matrisen

Här nedan följer resonemang för borttagning av lösningalternativ som ligger till grund för den första konceptgenereringen.

Ledning av kylkanal

Ledning 3 och 6: Dessa dellösningar valdes bort eftersom att dem av geometriska skäl skulle kräva ett för stort antal omfattande ändringar på den befintliga produkten.

Placering av kylkanal

Dem fyra dellösningarna som valdes bort för delsystemet "placering av kylkanal" är: "två motsatta sidor", "alla långsidor", "tre sidor" och "centrum". Detta gjordes då det av utrymmesskäl finns begränsningar i den befintliga produkten.

In och utflöde placering

För detta delsystemet valdes dellösning 2, 4-7 samt 9 bort då man vill minimera utbytet av värme mellan in- och utflödet och därför placera flödena så långt bort från varandra som är möjligt. De är också av vikt att placera in- och utflödet så nära placeringen av kylkanalen som möjligt, då det annars kan kräva större ändringar på den befintliga produkten.

Värmeöverförande komponent

Panel: Då denna dellösning är baserad på den befintliga lösningen "roll bond", där kanalerna vanligtvis placeras med ett relativt stort avstånd ifrån varandra, begränsas denna lösning vid utformningen av kanalerna då man vill ha en så hög andel kanaler på en viss volym som möjligt.

Fullständigt cellomslutande: Denna lösning skulle kräva en allt för omfattande omplacering av battericellerna för att ens vara funktionell då det är väldigt begränsat med utrymme mellan dessa.

Att endast använda kylkanalen som värmeöverförande komponent är inte lämpligt baserat på tillverkningsbarheten.

Tvärsnitt kylkanal

För delsystemet “tvärsnitt kylkanal” har man valt att endast använda “rektangulär” då det är den mest effektiva användningen av utrymme för kylkanalen i en rektangulär volym. Detta kan således möjliggöra skapandet av många mini-kanaler som då ger en stor värmeöverförande area i kylutrustningen i förhållande till dem andra tvärsnitten.