

## RESEARCH ON INTELLIGENT MONITORING OF LI-ION BATTERIES

VĂLIMĂREANU Beniamin, SAVCA Stelian, BUGHIANU George, OPRESCU Andreea  
Facultatea: FIIR, Specializarea: INPN/ IAAC/ IMPSC, Anul de studii: 1,  
e-mail: valimareanuben@yahoo.com

Conducători: prof.univ. **OPRAN Constantin Gheorghe**; Ing. **ILIE Cristian**

*SUMMARY: This paper presents Research on Intelligent Monitoring of Li-Ion Batteries by analyzing their behavior under the influence of temperatures in order to maintain optimal functional parameters. Is presented the strategy of an integrated temperature monitoring system especially if the permissible critical value is exceeded. The system consists of a structure that has the role of protecting and supporting the battery and an electronic monitoring equipment. Their purpose is to bring the temperature inside the functional system to a normal level, wich does not influence the battery parameters. It is intended to prevent the risk of explosion or ignition, given that the structure of the battery contains chemicals that promote combustion and whose temperatures can reach up to 500°C. An important element of the intelligent system is the heating source which has the role of maintaining the temperature of the battery above a lower critical temperature under special operating conditions.*

*KEY WORDS: LI-ION, temperature, electronic equipment, heating, critical, monitoring.*

### 1. Introducere

Sistemul pentru monitorizarea temperaturii acumulatorului tip Li-ion este compus din mai multe elemente precum: sursa de răcire (ventilatorul), sursa de încălzire, elemente pentru montarea sistemului, partea inferioară a carcasei și capacul carcasei, care este asamblat demontabil de partea inferioară pentru a permite schimbarea sau verificarea ulterioară a acumulatorului.

Carcasa este fabricată dintr-un material plastic cu rezistență foarte bună la temperaturi înalte (peste 100 de grade Celsius) pentru a putea rezista și funcționa în medii extreme. Dimensiunile se realizează în funcție de dimensiunile acumulatorului, astfel încât spațiul dintre acesta și suprafețele interioare ale carcasei să fie suficient de mare pentru a permite trecerea aerului (> 10-30 mm). Grosimea se consideră a fi între 3 și 4 mm, ceea ce conduce la o rezistență mare a sistemului. Totodată sunt prevăzute deschideri în carcasă pentru a permite ieșirea bornelor pozitivă și negativă și un locaș pentru montarea ventilatorului, cât și o deschidere pentru eliminarea aerului din interior.

Dispozitivele pentru răcirea și încălzirea bateriei sunt de tip electric și sunt legate direct la acumulator, nemaifiind nevoie de o sursă exterioară pentru alimentarea acestora. Ventilatorul folosit este ales astfel încât volumul de aer furnizat de acesta să fie mai mult decât suficient pentru răcire și astfel pentru funcționarea normală a acumulatorului. Se ia în calcul și ca valoarea tensiunii acestuia să nu depășească 12V, iar numărul de rotații și numărul de decibeli (dB) pe care le generează să nu depășească o valoare maximă.

### 2. Stadiul actual

#### 2.1 Stadiul actual privind acumulatorii de tip Li-Ion

În prezent, cererea pentru vehicule cu emisii reduse este în creștere. De aceea, vehiculele hibride (HEVs – Hybrid Electric Vehicles) și cele hibride „plug-in” (PHEVs – Plug-in Hybrid Vehicles) se află în continuă dezvoltare rezultând un consum redus de combustibili fosili. Sistemul auxiliar al vehiculului funcționează la tensiunea de 12 V, sistem care este alimentat de acumulatori cu plumb. Acești acumulatori sunt cei mai utilizați în vehicule incluzând vehiculele hibride. Momentan acumulatorii acizi sunt suficienți

pentru cerințele vehiculelor actuale dar viitoarele generații de vehicule vor necesita acumulatori mai performanți. Astfel, se urmărește posibilitatea înlocuirii acumulatorilor acizi cu acumulatori de tip Li-Ion [3].

**Principii de funcționare.** Acumulatorul este un dispozitiv care înmagazinează energie electrochimică și în același timp furnizează energie electrică. Un acumulator conține trei componente principale: catod, anod și electrolit. Catodul sau electrodul negativ este capabil să colecteze electroni dintr-un circuit extern. Electrolitul este materialul unde ionii sunt transferați de la anod la catod.

Parametri principali ai acumulatorilor sunt: SOC (State of Charge) – Nivelul de încărcare al acumulatorului, intervalul temperaturii, rata de descărcare în repaus, DOD (Depth of Discharge) – Adâncimea descărcării, etc.

**Acumulatorii de tipul Li-Ion** se bazează pe Litiu, care este cel mai ușor metal (în condiții normale) dintre elementele chimice. Proprietățile electrochimice ale litiului permit acumulatorilor să atingă puteri și densități de energie mari. Acest tip de acumulator este foarte comun în aplicațiile electronice și vehiculele electrice. Acumulatorii Li-Ion pot fi modelați și adaptați în așa fel încât să respecte cerințele. Principalul dezavantaj ai acestor acumulatori este faptul că temperatura trebuie controlată. Ieșind din intervalul de temperatură specific, performanța și durata de viață a acumulatorului scade. Pentru asta, orice acumulator de tipul Li-Ion trebuie să includă un sistem de management (BMS – Battery Management System). În plus, acumulatorul poate include și un sistem de monitorizare a parametrilor, cum ar fi: voltaj, curent, temperatura, etc. [3]

**Poziționare.** În prezent, sunt disponibile 4 poziții posibile pentru montarea acumulatorilor de tipul Li-Ion. Pentru a reduce lungimea conductorilor electrici, acumulatorii trebuie poziționați cât mai aproape de panoul de siguranțe și consumatori. De aceea, amplasarea în partea frontală a vehiculului este considerată ca variantă de viitor. În figura 1 sunt prezentate pozițiile posibile ale acumulatorului [3].

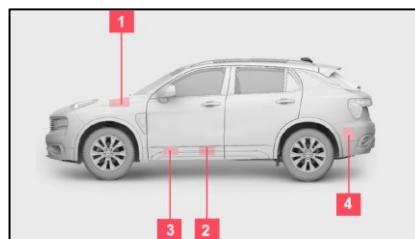


Fig. 1 – Locații posibile ale acumulatorilor Li-Ion [3]

**Tabelul 1. Analiza diferitelor locații ale acumulatorilor [3]**

Factori	Parte frontală	Sub scaunele din față	Portbagaj
Răcire	+	-	-
Întreținere	+	-	+
Înlocuire	+	-	+
Amplasat în vecinătatea consumatorilor	+	+	-
Amplasat în vecinătatea panoului de siguranțe	+	+	-
Spațiu pentru acumulator	-	+	+
Lungimea conductorilor	+	+	-
Câmpuri magnetice	+	-	+
Zgomot	+	-	+
Siguranța în caz de accident	-	-	-

**Dimensiuni.** Celulele prismatice se găsesc în diferite forme, de la dimensiuni mici cât pentru un telefon mobil până la dimensiuni mari cât pentru vehiculele electrice/hibride. În utilizarea acumulatorilor pentru vehicule se urmărește alcătuirea acestuia din celule prismatice mici. Astfel, modelare pachetului de celule este mai flexibilă și în cazul defectării unei celule, nu se pierde o capacitate mare a acumulatorului, așa cum s-ar fi întâmplat în cazul utilizării celulelor mari. În plus, riscul de explozie a unei celule mari este mult mai mare în comparație cu celulele mici.

Dimensiunile celulelor prismatice variază astfel: → Lungime: de la 40 la 60 mm; → Lățime: de la 4 la 10 mm; → Înălțime: de la 30 la 40 mm.

Cele mai comune dimensiuni pentru o celulă sunt: 50 x 7 x 35 mm, dimensiuni la care se adaugă 3 mm pentru cazul în care celula se dilată din cauza formării gazelor. [3]

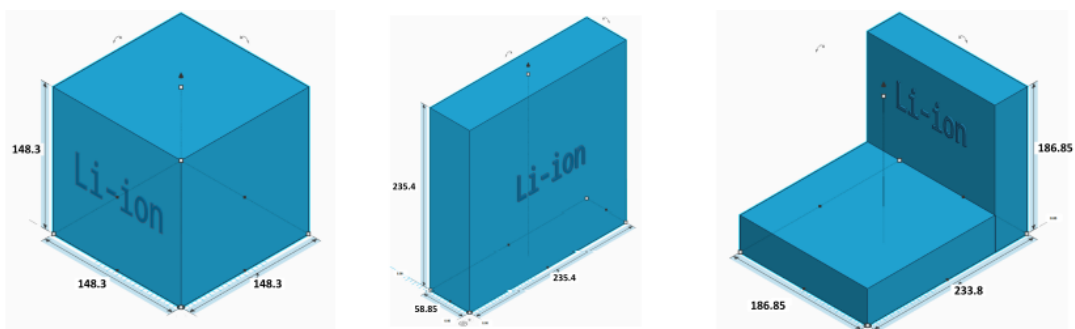


Fig. 2 – Forme diferite ale acumulatorilor Li-Ion [3]

## 2.2 Stadiul actual privind impactul temperaturii asupra acumulatorilor Li-Ion

Migrația ionilor de Litiu în circuitul intern și a electronilor în circuitul extern duce la funcționarea LIB-urilor. Rata de funcționare, cunoscută sub numele de rată de încărcare sau descărcare, este denumită rată C, care este definită ca curentul de încărcare sau descărcare împărțit la capacitatea LIB-urilor.

Datorită densității mari de energie (până la 705 Wh / L) și a puterii densitate (până la 10.000 W/L), capacitate de înaltă tensiune și performanță excelentă la ciclism, LIB-urile sunt utilizate ca surse de alimentare în numeroase produse electronice, vehicule electrice, sisteme de stocare a energiei, precum și în aplicații militare și aerospațiale [13].

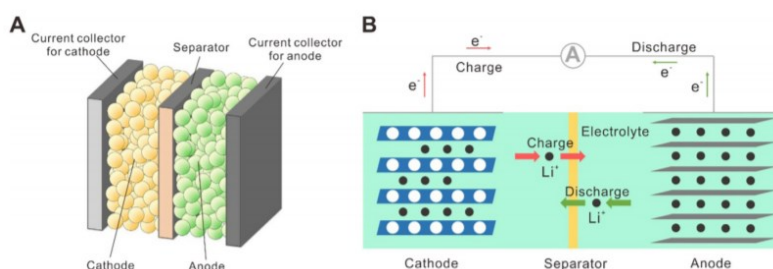


Fig. 3 – (A) Schema componentelor și structurilor LIB-urilor. (B) Schema mecanismului de funcționare a LIB-urilor [13]

Cu toate acestea, LIB-urile se confruntă încă cu bariere care le limitează spațiul de aplicare. Una dintre limitările majore este impactul temperaturii asupra funcționării corespunzătoare a LIB-urilor. În general, regiunea de temperatură acceptabilă pentru LIB-uri este de  $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ . Intervalul optim de temperatură pentru LIB-uri este de  $15^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ . Odată ce temperatura este în afara acestor regiuni confortabile, LIB-urile se vor degrada rapid, cu un risc crescut de a se confrunta cu probleme de siguranță care includ incendiu și explozie. În general, impacturile de la temperatură pot fi împărțite în două categorii: efecte de temperatură scăzută și efecte de temperatură ridicată. [13]

În aplicațiile LIB-urilor există provocări termice datorită performanțelor dependente de temperatură. Intervalul optim de temperatură de funcționare a LIB-urilor este în general limitat la  $15 - 35^{\circ}\text{C}$ . Atât temperatura scăzută, cât și temperatura ridicată în afara acestui interval vor afecta performanța și pot provoca modificări ireversibile ale LIB-urilor. La temperaturi scăzute, degradarea performanței este cauzată în principal de reducerea conductivității ionice și creșterea rezistenței la transferul de sarcină. Condițiile de temperatură ridicată accelerează îmbătrânirea termică și pot scurta durata de viață a LIB-urilor. Generarea de căldură în interiorul bateriilor este un alt factor considerabil la temperaturi ridicate. Odată cu stimularea temperaturii ridicate, reacțiile exoterme sunt declanșate și generează mai multă căldură, ducând la creșterea suplimentară a temperaturii. O astfel de generare necontrolată de căldură va duce la incendiere sau chiar explozie. [13]

## 2.3 Stadiul actual privind tipurile de răciri ale acumulatorilor Li-Ion

Până în prezent, în multe articole de cercetare s-a constatat că temperatura are un impact mare asupra ciclului de viață al bateriei și starea sa de sănătate. În climatele tropicale, în condiții controversate, durata de viață a bateriei poate suferi o degradare cu 66% [16]. În țările cu climat rece, bateriile care funcționează în condiții de frig conduc la o scădere semnificativă a stării sale de sănătate. De asemenea, sub unele încărcări anormale și condiții de descărcare anormale, dacă o baterie suferă o schimbare termică bruscă, atunci căldura degajată poate provoca o defecțiune termică catastrofală [6] ducând la o explozie periculoasă.

Astfel, au fost propuse, după cum urmează, diferite metode pentru răcirea bateriei, astfel încât durata de viața a acesteia să fie cât mai mare și să nu provoace daune care au o influență semnificativă asupra utilizatorului [1].

### 2.3.1 Răcirea cu aer

Această metodă de răcire este clasificată în două tipuri: răcire forțată și naturală. Căldura este disipată prin convecție a transferului de căldură. Proiectarea unui astfel de sistem de răcire este cea mai simplă metodă pentru răcirea unui acumulator [1].

### 2.3.2 Răcirea cu lichid

În comparație cu tehnicile de răcire cu aer, răcirea cu lichid poate fi mai eficientă în reducerea temperaturii. Răcirea lichidă poate produce rezultate mult mai bune atunci când este aplicată pentru pe zone mari [2]. Instalația unei astfel de răciri implică costuri mai mari decât răcirea cu aer.

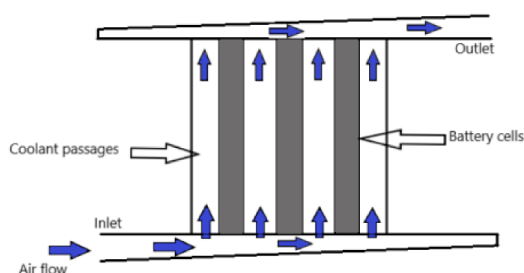


Fig. 4 – Schema unui sistem de răcire cu aer a unui acumulator Li-ion [1]

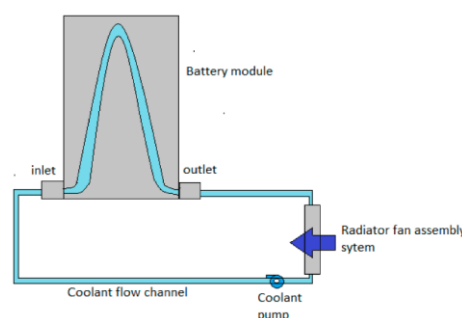


Fig. 5 – Schema unui sistem de răcire cu lichid a unui acumulator Li-ion [1]

### 2.3.3 Răcirea pe bază de agent frigorific

Sistemele de răcire pe bază de agent frigorific sunt o subclasă a sistemului de răcire cu lichid, dar componentele, proiectarea și operațiunile sunt complicate [9]. Odată cu implementarea acestei metode, performanța bateriilor termice a fost îmbunătățită semnificativ. Această metodă preia pur și simplu aerul condiționat existent în sistem utilizat pentru menținerea temperaturii în interiorul mașinii și îl asimilează în carcasa bateriei Li-ion producând astfel răcirea acesteia. [10]

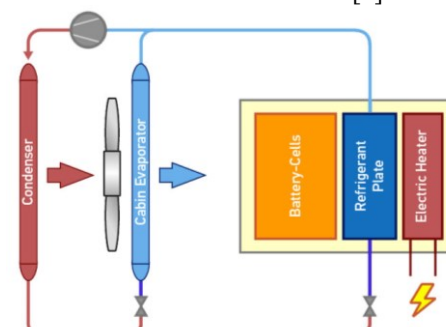


Fig. 6 – Schema unui sistem de răcire a unui acumulator Li-Ion pe bază de agent frigorific [8]

## 2.4 Eficiența răcirii acumulatorilor folosind unul sau mai multe ventilatoare

Eficiența reprezintă raportul dintre ieșire și intrare. Poate fi îmbunătățită prin reducerea mărimilor de intrare și/sau creșterea valorilor marimilor de ieșire. În cazul ventilatoarelor, care sunt folosite pentru a răci solide prin creșterea vitezei aerului din jurul solidului respectiv, mărimea de intrare reprezintă energia electrică necesară pentru a funcționa ventilatorul (puterea este aproape constantă), iar mărimea de ieșire este temperatura la care ajunge corpul după răcire.

Efectul de răcire a unui solid produs de un ventilator depinde în general de viteza aerului și turbulențele de câmp, zona solidului expusă aerului în mișcare, dimensiunile ventilatorului, numărul de rotații ale elicelor, aerul și temperatura ambiantă, cât și umiditatea din aer. Efectul de răcire al unui solid realizat de un ventilator poate fi definit ca fiind diferența dintre temperatura echivalentă pe întreg solidul  $t_{eq}^*$  și temperatura echivalentă din condițiile inițiale  $t_{eq}$  ( $\Delta t_{eq} = t_{eq} - t_{eq}^*$ ). Conceptul acesta a fost deja folosit de mai mulți autori pentru a cuantifica efectul de răcire al unui solid prin mișcarea aerului [15]. Prin urmare coeficientul de răcire folosind un ventilator (CFE- Cooling Fan Efficacy) este definit de ecuația următoare:

$$FE = \frac{\text{Efectul de răcire}}{\text{Puterea ventilatorului}} = (-1) \frac{\Delta t_{eq}}{P_f} \quad (1)$$

unde:  $P_f$  – Puterea de intrare a ventilatorului;  $\Delta t_{eq}$  – efectul de răcire al solidului [15]

Cunoscând acest coeficient CFE și efectul de răcire ( $\Delta t_{eq}$ ), clienții pot cumpăra ventilatoare mai eficiente, proiectanții pot realiza produse mai bune în funcție de capacitatea ventilatorului și evaluarea posibilităților pentru a economisi energie bazate pe creșterea vitezei aerului. [12]

Pe măsură ce consumul de energie al vehiculului continuă să crească, cercetarea sa de economisire a energiei devine foarte importantă și urgentă. Ca un subsistem important de vehicule, sistemul de management termic al vehiculului (VTMS) este unul dintre cele mai promițătoare tehnologii de economisire a energiei nu numai pentru vehiculele tradiționale cu motor cu ardere internă, ci și pentru vehiculele electrice hibride și vehiculele electrice [11]. VTMS complet este format din sistemul de răcire al vehiculului, sistemul de control al climei și sistemul de recuperare a energiei reziduale [4]. Tendința de dezvoltare a VTMS este de a adopta dispozitive electrice, cum ar fi termostat electric, pompa electrică de lichid de răcire [5] și ventilatoarele electrice [14].

Unul dintre modurile de răcire eficientă a fost utilizarea de ventilatoare electrice și a fost numit modul de răcire multi-ventilatoare, care poate funcționa la cerința termică a vehiculului controlat prin utilizarea strategii avansate de control [14] pentru reducerea consumului de energie și, prin urmare, îmbunătățirea globală a eficienței energetice.

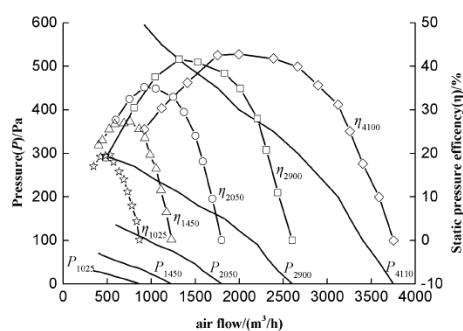


Fig. 7 – Performanța diferitelor tipuri de ventilatoare în funcție de presiune, numărul de rotații ale elicelor ( $P_n$ ) și de volumul de aer generat de ventilator [7]

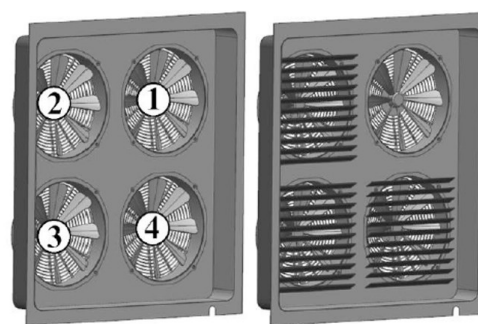


Fig. 8 – Diferite tipuri de așezare a multi-ventilatoarelor [14]

### 3. Simularea fluxului de aer și a temperaturii

#### 3.1 Date inițiale

Contribuția proprie o reprezintă simularea curgerii aerului în interiorul carcasei, definirea parametrilor necesari simulării, precum și realizarea unor prezentări scurte ce conțin rezultatele simulării și interpretarea lor. Am urmărit ca temperatura acumulatorului să nu depășească valoarea de 70 de grade Celsius pentru a funcționa în regim normal.

Simularea curgerii aerului în interiorul produsului (carcasei) s-a realizat într-un soft ce conține un modul special pentru realizarea acesteia. Pentru ca acest studiu să fie corect, necesită definirea tuturor parametrilor necesari pentru a se putea realiza curgerea aerului, precum: temperatura inițială a solidului, temperatura mediului ambiant, tipul de ventilator folosit, presiunea din interiorul carcasei, zonele prin care aerul este

**Tabelul 2. Parametrii simulării**

Tipul de ventilator	PAPST 612 NHH
Tipul de curgere	Turbulent și laminar
Viteza de intrare a aerului în conductă	3 m/s
Accelerația gravitațională	9,8 m/s <sup>2</sup>
Temperatura mediului ambiant	100-105 °C
Temperatura inițială a solidului	20 °C
Coeficientul de transfer termic	20 W/m <sup>2</sup> K
Puterea evacuată de către acumulator	20 W
Presiunea inițială	101 325 Pa
Temperatura aerului care pătrunde în ventilator	20 °C

evacuat din interior, precum și zona prin care acesta pătrunde în conducta de aer. Totodată am considerat ca produsul de tip carcasă să fie etanșat complet, fără scurgeri de aer.

Toți acești parametri, precum și valorile acestora sunt evidențiați în tabelul 2.

Tipul de material al bateriei	PP (Polipropilenă)
Capacitatea specifică a materialului	1500 J/kg K
Conductivitatea termică	0,41 W/ m K
Tipul de analiză	Internă
Tipul fluidului de analizat	Aer (Gaz)

Modelul de ventilator ales este un ventilator de dimensiuni mici (figura de mai jos), cu un consum mic de energie, care poate fi suficient pentru a putea răci acumulatorul sub temperatura critică.

În figura următoare sunt prezentate caracteristicile acestui ventilator, precum și diagrama de generare a fluxului de aer de către ventilator în funcție de scăderea de presiune din interiorul carcasei.



Fig. 9 – Ventilatorul folosit pentru simularea fluxului de aer și a temperaturii

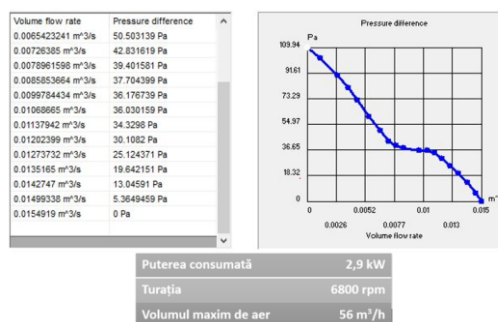


Fig. 10 – Volumul de aer generat de ventilator în funcție de scăderea de presiune din interiorul carcasei și caracteristicile ventilatorului ales

Este cunoscut faptul că aerul pătrunde în carcasa acumulatorului printr-o conductă realizată din material plastic (PP) rezistent la temperaturi mari, vibrații și șocuri. Astfel, am realizat calcule pentru a putea vedea ce volum de aer este necesar să pătrundă prin conductă și mai apoi în ventilator, pentru ca acesta să mențină temperatura acumulatorului sub valoarea maximă. Aerul pătrunde în conductă cu o viteză de aproximativ 3m/s, valoarea ce s-a ales aleator, presupunând o viteză a vehiculului de 30 km/h.

Schema de design a produsului este prezentată în figura 11.

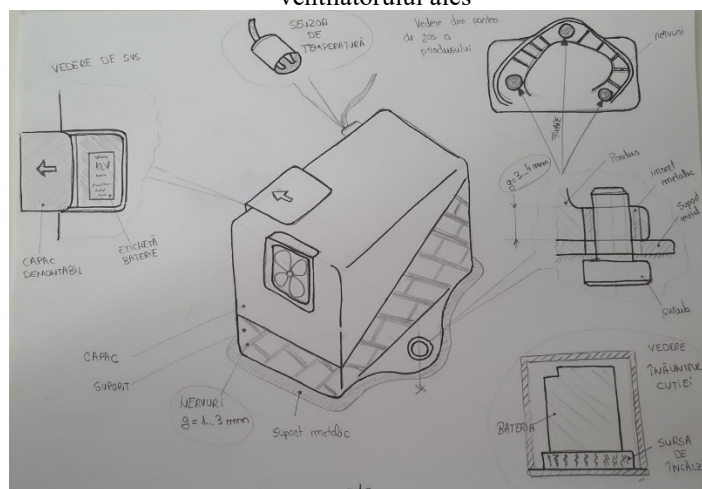


Fig. 11 – Schema de design a produsului

Fixarea carcasei se va realiza folosind surub si insert metalic introdus in materialul plastic, in cele 3 zone preluarea tuturor gradelor de libertate. Grosimea piesei este de aproximativ 3-4 mm pentru a fi rezistenta la socuri, vibratii, etc. iar grosimea nervurilor de 1-3 mm. Produsul este prevazut cu un senzor de temperatura simplu ce va semnaliza momentul in care temperatura bateriei este critica. Capacul demontabil (partea din stanga) este necesar pentru ca operatorul sa poata vizualiza detaliile bateriei inscriptionate pe eticheta acesteia.

### 3.2 Rezultatele și concluziile simulării

Contribuția proprie în această lucrare o reprezintă simularea curgerii aerului în interiorul carcasei și interpretarea rezultatelor. Rezultatele obținute în urma simulării sunt prezentate în figurile 12-19.

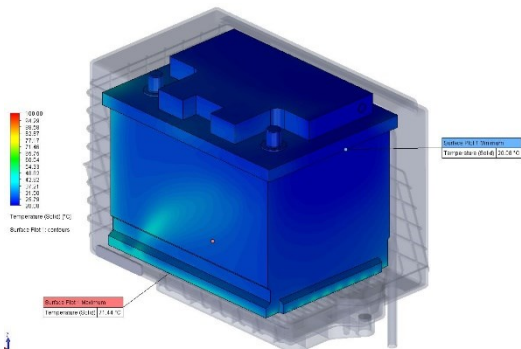


Fig. 12 –Temperatura acumulatorului în urma simulării cu ventilatorul pornit

Se observă o temperatură maximă de aproximativ 71.5 °C (pe suprafața de jos a acumulatorului) în urma simulării cu ventilatorul pornit și o temperatură minimă a acumulatorului de 20 °C, temperatură prezentă pe suprafața din imediata apropiere a ventilatorului. Suportul metalic pe care se așează acumulatorul are o influență mare asupra temperaturii, fiind realizat dintr-un metal, are o conductivitate termică mult mai ridicată.

Se observă din figurile 15 și 16, așa cum era de așteptat, o viteză mai mare a aerului în zona ventilatorului și o temperatură mai mare a fluidului din interior în zona în care viteza acestuia este foarte mică (partea de jos). Suportul metalic este necesar pentru a ridica cu o anumită înălțime acumulatorul pentru a permite aerului să atingă toate suprafețele, mai ales cele din zona inferioară, acolo unde temperatura are valoarea cea mai mare.

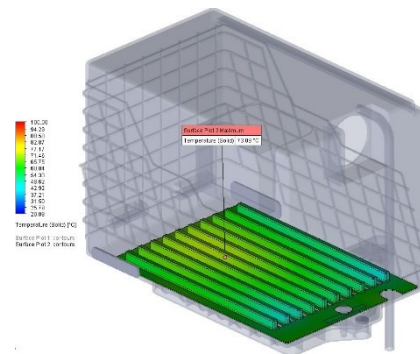


Fig. 13 –Temperatura suportului metalic pe care se așează acumulatorul

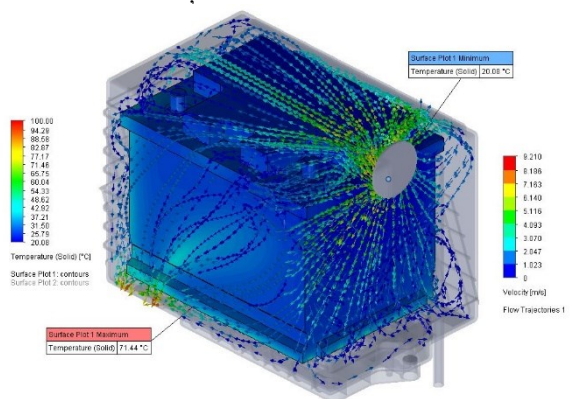


Fig. 14 –Simularea curgerii aerului în interiorul carcasi și temperatura acumulatorului cu ventilatorul pornit

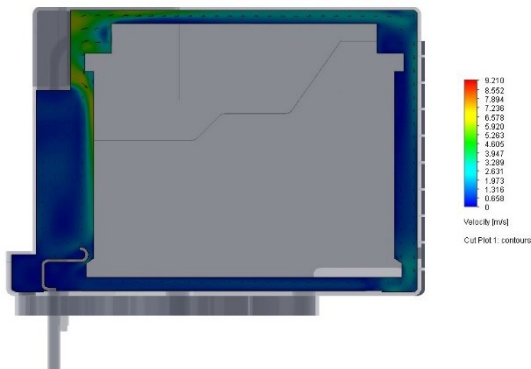


Fig. 15 –Distribuția vitezei aerului din interiorul carcasi (ventilator pornit)

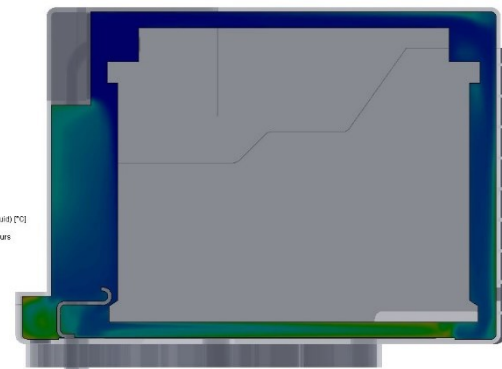


Fig. 16 –Distribuția de temperatură din interiorul carcasi (ventilator pornit)

Următorul studiu se referă la verificarea temperaturii bateriei în momentul în care ventilatorul este oprit iar fluxul de aer este generat de viteza vehiculului aflat în mișcare, printr-o conductă de aer, așa cum este prezentat în figurile 17 și 18. Se observă o valoare foarte mare a temperaturii acumulatorului, de aproximativ 89°C în zona inferioară a acestuia, valoare ce influențează durata de viață a acestuia și posibil pericol de explozie. Acesta este motivul principal pentru care am ales utilizarea unui ventilator, cât mai mic și mai eficient, care să nu implice costuri mari și care să reducă temperatura bateriei cu o valoare considerabilă. Din aceste simulări rezultă obligativitatea folosirii unui ventilator care să reducă considerabil temperatura acumulatorului Li-Ion, temperatură ce a rezultat ca fiind aproximativ 71.5 °C. Volumul de aer furnizat de ventilator este același cu cel care intră în acesta, motiv pentru care și volumul de aer care pătrunde în conductă trebuie să fie egal cu acestea.

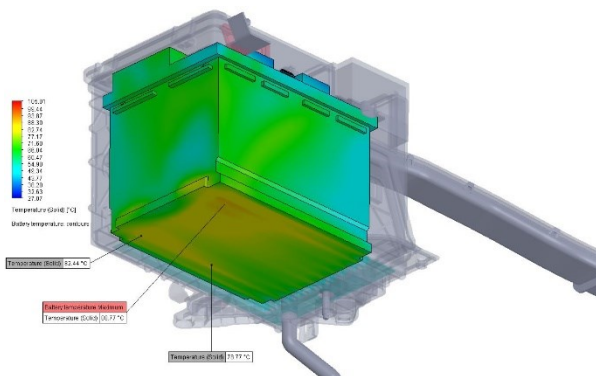


Fig. 17 – Temperatura acumulatorului rezultată în urma simulării cu ventilatorul oprit

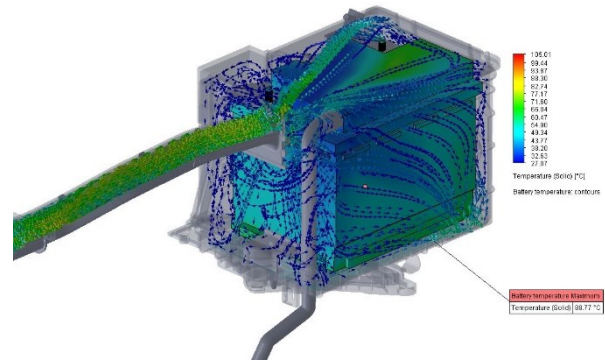


Fig. 18 – Curgerea aerului prin conductă iar apoi în interiorul carcasei (ventilatorul oprit)

**Direcții viitoare de cercetare.** Pe baza acestui studiu se pot realiza o multitudine de aplicații precum înlocuirea ventilatorului cu unul mai mare care să furnizeze un volum de aer mult mai mare, mărirea înălțimii suportului metalic pe care este așezat acumulatorul astfel încât să pătrundă cât mai mult aer necesar răcirii, utilizarea unui senzor de temperatură (termocuplă) în punctul în care a rezultat a fi cea mai mare temperatură, etc.

#### 4. Bibliografie

- [1] ANKUR BHATTACHARJE, RAKESH MOHANTY, *Design of an Optimized Thermal Management System for Li-Ion Batteries under Different Discharging Conditions*, 30 October 2020
- [2] Chen, D.; Jiang, J.; Kim, G.; Yang, C.; Pesaran, A. *Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells*, J. Power Sources 2016, 94, 846–854
- [3] Cela, d., Alerman, P. - *Study of a 12V Li-ion Battery, Solution for Hybrid Vehicles* – Chalmers University of Technology
- [4] D. Di Battista, M. Mauriello, R. Cipollone, *Waste heat recovery of an ORC-based power unit in a turbocharged diesel engine propelling a light duty vehicle*, Applied Energy, 152 (2015) 109-120
- [5] E.S. Mohamed, *Development and analysis of a variable position thermostat for smart cooling system of a light duty diesel vehicles and engine emissions assessment during NEDC*, Appl. Thermal Eng., 99 (2016) 358- 372
- [6] Feng, X.; Sun, J.; Ouyang, M.; Wang, F.; He, X.; Lu, L.; Peng, H. *Characterization of penetration induced thermal runaway propagation process within a large format lithium ion battery module*, J. Power Sources 2015, 275, 261
- [7] Haimin Shi, Yiji Lu s.a., *Experimental study of multi-fans cooling module using different shroud structures for advanced vehicle thermal management system*, 9th International Conference on Applied Energy, ICAE2017, 21-24 August 2017, Cardiff, UK
- [8] <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/> accesat la data de 14.05.2021
- [9] Kim, J.; Oh, J.; Lee, H. *Review on battery thermal management system for electric vehicles*, Appl. Therm. Eng. 2019, 149, 192–212
- [10] Krüger, I.L.; Limperich, D. *Energy Consumption of Battery Cooling in Hybrid Electric Vehicles. In Proceedings of the International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, West Lafayette, IN, USA, 16–19 July 2012
- [11] M. Park, D. Jung, M. Kim, K. Min, *Study on the improvement in continuously variable transmission efficiency with a thermal management system*, Applied Thermal Engineering, 61 (2013) 11-19
- [12] SCHIAVON, Stefano, MELIKOV, Arsen, *Introduction of a Cooling-Fan Efficiency Index*, UC Berkeley HVAC System, November 2009, Volume 15, number 6
- [13] Shuai Ma, Modi Jiang, s.a, *Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review*, Progress in Natural Science: Materials International, 28 (2018) 653-666
- [14] T. Wang, A. Jagarwal, J.R. Wagner, G. Fadel, *Optimization of an Automotive Radiator Fan Array Operation to Reduce Power Consumption*, IEEE-ASME Trans. Mechatron., 20 (2015) 2359-2369
- [15] Tanabe et al. 1994; Tsuzuki et al. 1999; Melikov et al. 2002; Watanabe et al. 2005; Sun et al. 2007
- [16] Yuksel, T.; Litster, S.; Viswanathan, V.; Michalek, J.J. *Plug-in hybrid electric vehicle LiFePO4 battery life implications of thermal management, driving conditions, and regional climate*, J. Power Sources 2017, 338, 49–64