

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Lastbärande balk med integrerat batteri - en demonstratorstudie (BaBaDemo)	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Structural beam with integrated battery – a feasibility study	
Universitet/högskola/företag RISE	Avdelning/institution [Klicka här och skriv]
Adress [Klicka här och skriv]	
Namn på projektledare Anders Holmkvist	
Namn på ev övriga projektdeltagare Alelion Energy Systems AB, Scania CV AB	
Nyckelord: 5-7 st Elektrifiering, Kompositer, omslutande kylning, integrerade batterier,	

Förord

Babademo projektet har varit ett väl integrerat samverkansprojekt mellan Scania, Alelion Energy Systems och RISE. Kompletterande kompetenser, resurser och infrastruktur hos respektive part har resulterat i ett effektivt utfört projekt som tvingats anpassas p.g.a. rådande pandemi. Samtliga parter har påverkats men med en lösningsfokusering har projektets huvudaktiviteter genomförts och mål uppnåtts.

Finansiering har skett inom Fordonsstrategisk Forskning och Innovations och delprogrammet Energi och Miljö som syftar till att minska miljöpåverkan av energiframställning och energianvändning inom fordonsområdet

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning/Bakgrund	4
Genomförande	5
Bärande kompositbalkar	6
Kylning	7
Resultat	9
Mekanisk provning	9
Kylprovning	9
Vibrationsprovning	10
Riskanalys	10
Systemanalys	10
Diskussion.....	11
Bilagor	11
Administrativ bilaga.....	11

Sammanfattning

Projektet syftade till att utreda möjligheten att integrera batterier i lastbärande balkar till en lastbil, inklusive ett lämpligt sätt att hantera värmning/kylning av batterierna för maximering av energieffektiviteten i systemet. Mätbara energieffektivitetsmål sattes upp för projektet men den främsta målsättningen var att skapa kunskap och erfarenhet inom ett flertal olika strategiska områden som på så sätt bidrar till att påskynda implementeringen av helelektriska fordon för tunga transporter.

Inom projektet konstruerades kompositbalkar i kolfiber med ett batterisystem integrerat i balken. På så sätt skapas en global packningseffektiv lösning med en stark skyddsmekanism mot bland annat krock. Batterisystemets kylning baserades på en omslutande vätska som ger jämnare temperaturvariationer som bidrar till energieffektiviteten och batteriets livslängd.

Prototyper tillverkades i olika konstellationer anpassade för provningsutrustning. Provning genomfördes med avseende på elektrisk, termisk och mekanisk prestanda. All provning utfördes för att dels validera prestanda (inklusive validering av simuleringsmodellerna) men också erhålla en bredare praktisk kunskap och erfarenhet kring kompositerna i strukturella applikationer och integrerade batterier med omslutande vätskekylning. Resultaten av provningen visade på hög potential med konceptlösningen. Ett jämförande scenario som användes inom projektet visade på att viktreduktionen och systemeffektiviteten gav en ökad energidensitet med cirka 14%. Projektet fokuserade på att tillverkning och provning av egenskaper och prestanda och nyttjade tillgängliga batterier som fungerade i den packningsgeometrin som var tillgänglig. Energidensiteten kan avsevärt höjas vid vidare optimering av det utvärderade konceptet.

Summary

The project aimed to investigate the possibilities of integrating batteries in load-bearing beams to a truck, including an appropriate way to handle heating / cooling of the batteries to maximize energy efficiency in the system. Measurable energy efficiency goals were set for the project, but the main goal was to create knowledge and experience in a number of different strategic areas, thus helping to accelerate the implementation of all-electric vehicles for heavy carriers.

Within the project, composite beams were constructed in carbon fiber with a battery system integrated in the beam. In this way, a global packing-efficient solution is created with a strong protection mechanism against, among other things, collisions. The battery system's cooling was based on an enclosing fluid that provides smoother temperature variations that help with energy efficiency and battery life.

Prototypes were manufactured in different constellations adapted for test equipment. Testing with respect to electrical, thermal and mechanical performance was conducted. All testing was performed to validate performance (including validation of the simulation models) but also durable and broader practical knowledge and experience around composites in structural applications and integrated batteries with enclosing liquid cooling was established. The results of the test showed high potential with the concept solution. A comparative scenario used within the project showed that the weight reduction and system efficiency gave an increased energy density of about 14%. The project focused on producing and proving properties and performance and utilized available battery cells that work in the available packing geometry. The energy density can be significantly increased by further optimization of the entire design solution with the evaluated concept.

Inledning/Bakgrund

Elektrifiering av transportsystem har pågått under en längre tid mycket tack vare myndighetskrav på CO₂-reduktion men även en stark trend mot ökad hållbarhet. I och med Parisavtalet tog elektrifieringsvågen verkligen fart. Personbilar har kunnat elektrifieras på ett relativt enkelt sätt medan framförallt long haul transporter står inför större utmaningar pga räckviddskrav, laddningstider, begränsningar i axeltryck och packningsutrymme. Ett viktigt område är temperaturreglering av batteripacken för att optimera nyttjandegrad och livslängden på batterierna. Regleringen av temperatur är energikrävande och den energin som där går åt ska företrädesvis användas för att öka räckvidden på fordonet.

Genom en multifunktionell struktur, ”batteribalken”, avsåg projektet att undersöka några av de problem med helelektriska tunga fordon som identifierats. Batteriet integrerades i de centrala lastbärande balkarna vilket skulle ge en lägre systemvikt och en packningsoptimering. För att optimera egenskaper och vikt var utgångspunkten att tillverka balkarna i kolfiberkomposit. Det integrerade batteripaketet blir också väl isolerade från omgivningen vilket minskar energibehovet med avseende på temperaturreglering av batterierna. Möjligheten att hålla relativt konstant temperatur på batteripaketet kan därför avsevärt förlänga ett helelektriskt fordons räckvidd, utan att använda fler batterier, alternativt bibehålla en given räckvidd med färre batterier. Eftersom batteripaketet är inbyggt i den lastbärande strukturen är det också väl skyddat i händelse av en krock, men även islag vid till exempel påkörning av farthinder och eventuellt skräp som kan ligga på vägbanan.

Projektet syftade till att utveckla, tillverka prototyper och validera dessa egenskaper för att verifiera concepts potential. En viktig effekt av projektet är den kunskap och erfarenhet kring utveckling, tillverkning, simulering och provning som byggs upp av samtliga parter för fortsatt framtida utveckling.

Genomförande

Konsortiet i projektet var väl definierat med tydliga roller. **Scania** definierade den kompletta kravbilden på komplettbilssystem och de ingående delsystem som projektet fokuserade på. Scania ansvarade för analys och provning av kylningskonceptet och likväl säkerhetsaspekter kopplat till konceptet av omslutande vätskor kring batteriet. Scania hade också rollen som ansvarig för validering av systemkonceptet.

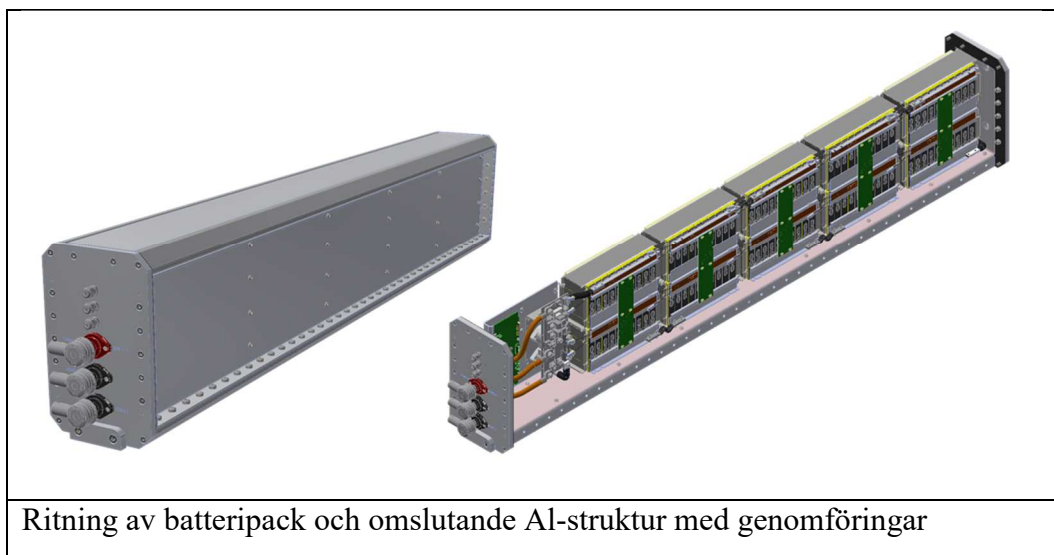
Alelion ansvarade för konstruktion och tillverkning av batteripaket inklusive den omgärdande tätslutande konstruktionslösningen som den innehöll den omslutande kylvätskan.

Flera delar av **RISE** var involverad i projektet. Dels multimaterialgruppen som ansvarade för gränssnittet mellan batteripaket och den bärande balken och dels kompositgruppen som ansvarade för konstruktion och tillverkning av de bärande kompositbalkarna. RISE agerade också projektledare för projektet.

Uppbyggnaden av projektet var baserat på sex arbetspaket (förutom ett administrativt projektledningsspaket) nedbrutet efter systemet – balken, batteriet, kylning. Därefter två arbetspaket kopplat till validering av batteriets egenskaper samt systemets hållfasthet och utmattningsegenskaper. Slutligen ett kopplat till säkerhet och hantering av systemlösningen.

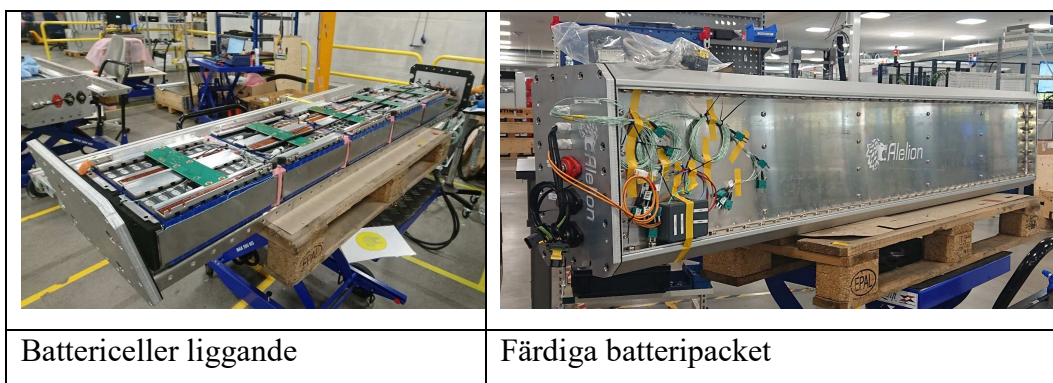
Prototyper tillverkades med avsikt att verifiera egenskaperna. Prototyperna anpassades efter dimensions och tillståndsförutsättningar för valideringen. Provning med skarpa batterier var inte tillåtna vid vissa fall pga risker med högspänningslast i vissa miljöer. I de fallen användes representativa ”dummies” med rätt vikt och dimension.

Batteripaketet



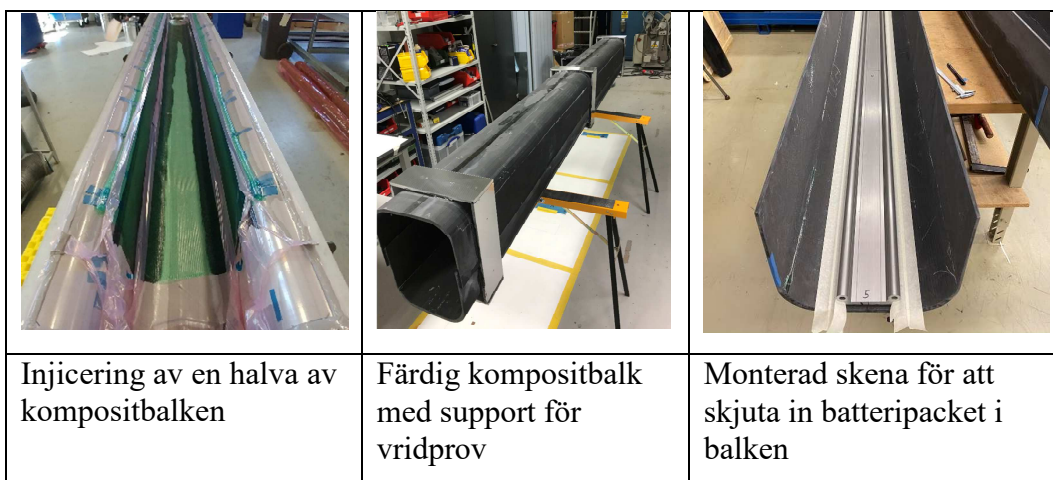
Ritning av batteripack och omslutande Al-struktur med genomföringar

Alelion konstruerade ett batteripack inklusive en tätslutande packning– ett koncept som inom projektet gick under begreppet ”bag-in-the-box” för att innehålla den omslutande kylvätskan. Batteripacket baserades på existerande batterimoduler hos Alelion sammanbyggdes för att uppfylla kapacitets-specifikationen definierat från Scania. Batteripacket bestod av fem kopplade moduler vilket gav ett 36,5 V system. Cellerna i packet var 53 Ah celler. Hela packet inklusive elektronik, BMS och BDU byggdes in i BIB:en med endast kopplingar och genomföringar för elinstallation, tillståndsmätning och vätskor. BIB:en omslutande struktur bestod av extruderade Al-profiler och plåt sammanfogade med bultförband.



Bärande kompositbalkar

Förutsättningarna för de bärande balkarna var att de skulle tillverkas i kolfiber med syfte att göra så lätta balkar som möjligt. De styrande kraven för dimensionering av balkarna var nedböjningen. Balkarna konstruerades baserade dels på kravspecifikationen dels på de geometriska förutsättningar de tillgängliga batterimodulerna erbjöd. Detta resulterade i O-formade balkar med dimensionen 430 mm gånger 280 mm med godstjocklek på cirka 5 mm på sidorna och 15 mm på topp/botten vilket ska jämföras med dagens C-formade longitudinal stålbalkar med dimensionen 270 mm gånger 90 mm.



Balkarna tillverkades i två långsgående halvor som därefter limmades ihop med en överlappsfog. Biaxiella (+/-45) vävar i kombination med ”uni-directional” mattor byggde upp laminatstrukturen. En epoximatrix från Araldite användes och vakuuminjicering användes som tillverkningsprocess. Totalt tillverkades nio fullängdsbalkar (3,5 m lång) som vägde cirka 70 kg styck! Åtta av dessa användes för mekanisk provning (vrid och 4-punktsböjning). Den sista balken kapades till kortare delar för kyl- och skakprovning. I de balkar som innehöll batteripaket limmades en styrskena fast för att skjuta batteriet på plats.

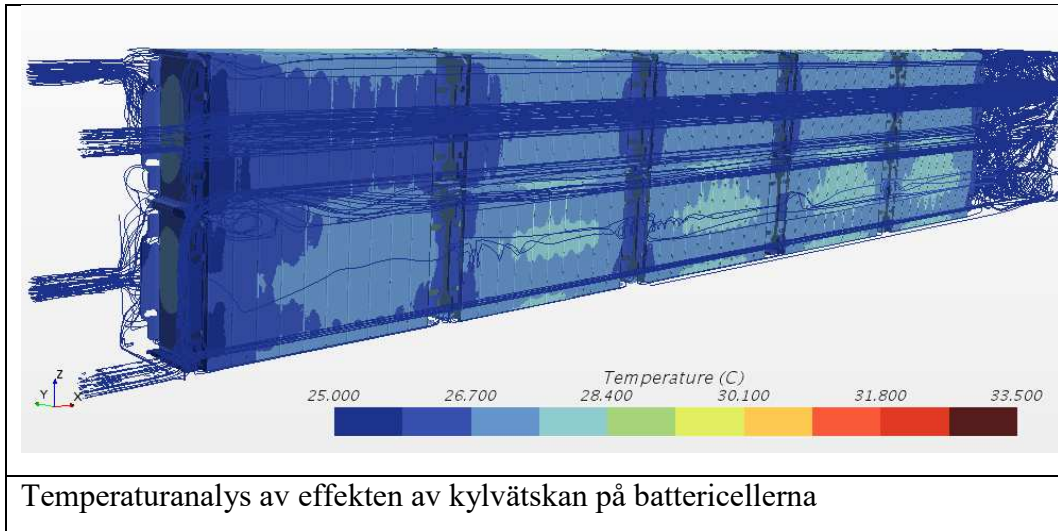


Sammanbyggnad av komplett balk med batteripack

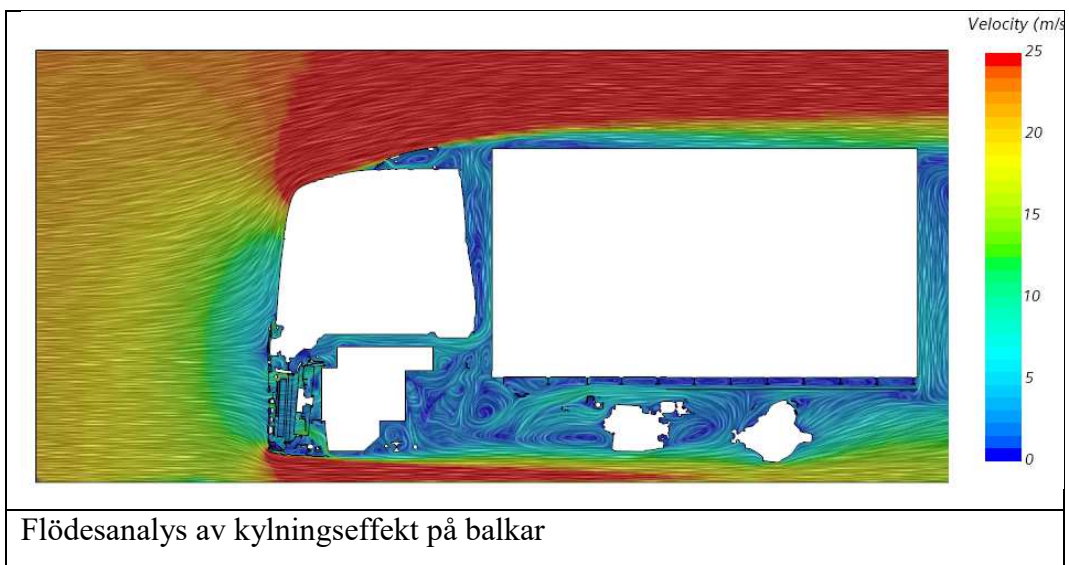
Kylning

Scania genomförde simuleringar för att analysera kyleffekten och flödet kring battericellerna i ”bag-in-the-box” koncept, dvs att en kylvätska omsluter batterimodulerna och elektronik. Analyserna jämförde kyleffekten mot traditionella kylplattor. Jämförelse gjordes på komplettsystem. Dagens lösningar innebär att batterier monteras på konsoler på utsidan av de bärande strukturbalkarna (på samma sätt som dagens bränsletankar) och dessa jämfördes med Babademo-konceptet.

När projektet inleddes planerades en specialanpassad kylvätska från 3M att användas. Under projektets gång uppdagades att kostnaden för vätskan inte var hållbar och en traditionell kylvätska ersatte. Vätskorna hade olika viskositet och penetrationsförmåga vilket resulterade i en del läckageproblem samt att optimeringsloopar inte kunde genomföras pga av tidsbrist.



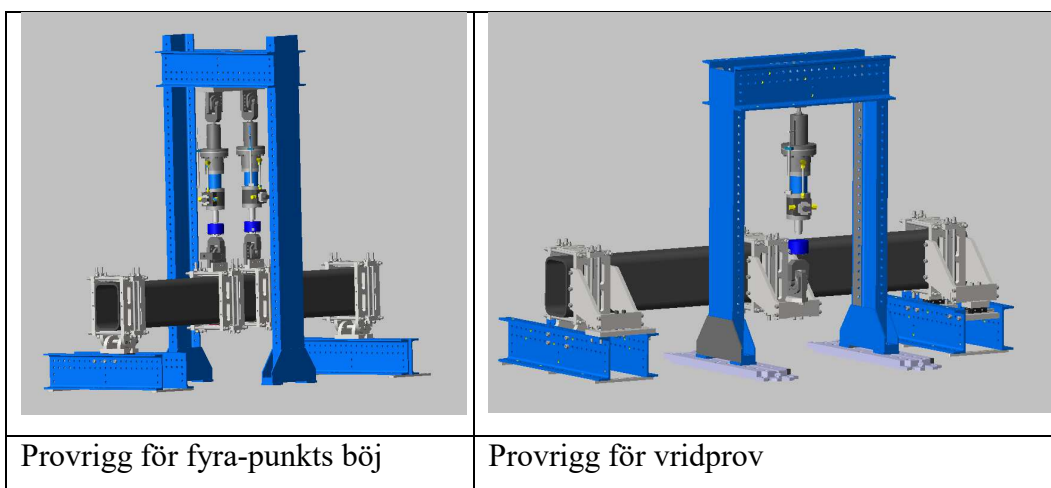
Analys genomfördes även på effekten av positioner av batterisystemen på lastbilen och hur de aerodynamiska kyleffekterna påverkade effektiviteten i komplettsystemen.



Resultat

Mekanisk provning

Fullängdsbalkar (3,5 m långa) provades dels som rena balkar och dels med 2 meter långa batteridummys monterade i balkarna. Två lastfall provades – fyrpunktsböj och vridprov enligt standardprovning hos Scania. Normalt är önskemål att balkarna fallerar för att skapa en förståelse för brottbeteende och konstruktionskriterier för en optimal konstruktionslösning. Framförallt i fallet med kolfiberbalkar som är till stor del ett nytt material ges ett stort värde av att förstå när och hur en balk fallerar. Då det styrande lastfallet vid konstruktion av balkarna var nedböjning klarade inte lastcellerna de laster som krävs att tvinga sönder balkarna – varken genom max.last eller utmattning inom en rimlig tid. Både provning i fyrpunktsböj och vrid visade att balkarna klarade kravspecifikationen.



Kylprovning

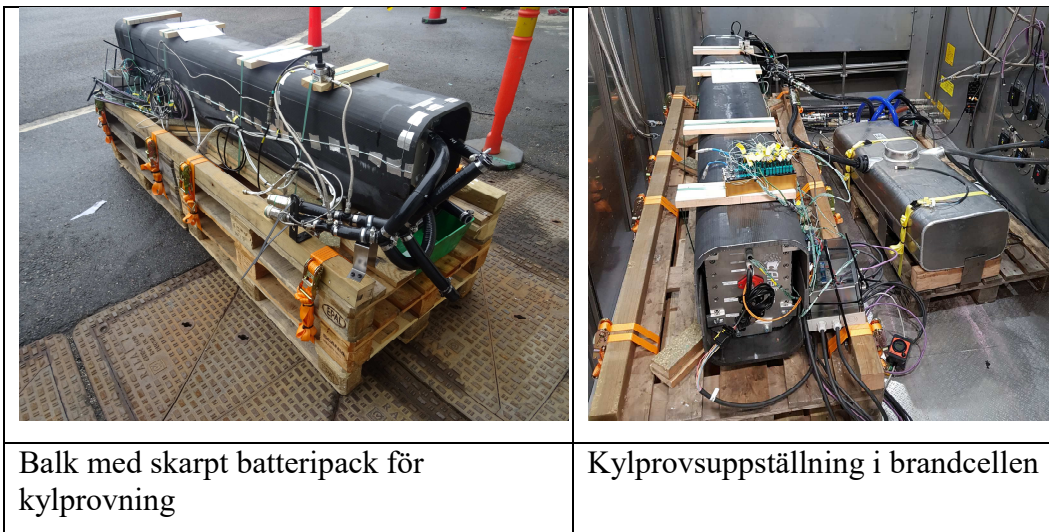
Kylprovningen genomfördes med skarpa batterier i en egen brandcell. Materialkompatibilitetsprovning hade genomförts innan provning genomfördes. Tätning av provkroppen var ett stort problem och mycket tid fick läggas på att säkerställa tätning av konceptet.

Testriggen var uppbyggd med ett stort antal olika temperatur och flödesensorer för att mäta flöden och temperaturförändringar baserad på olika tillståndssituationer.

Provningen visade på ett effektivt system för temperaturstyrning och kontroll. Ett flertal olika praktiska lärdomar identifierades för vidare optimering – både gällande effektivitet i systemet och praktiska konstruktionslösningar.

Externa temperaturflöden

Flödessimulering som genomfördes för att analysera effekten av omgivande luftflöden visade på en tydligt förbättrad energieffektivitet – snabbare temperatur balansering, mindre energiåtgång och mindre förluster. Detta motsvarar 3,5 celler som nyttjas för temperaturreglering istället för framdrift av lastbilen.



Vibrationsprovning

En halvmeter lång balk vibrationsprovades i alla tre riktningar. Provning stötte på en del problem med infästningen av batteriet i balken vilket krävde modifieringar. Fullvärdiga provningsresultat kunde inte uppnås utan en omkonstruktion av infästningskonceptet. Dock gjordes bedömningar på de resultat som uppnåddes gällande på slitage och utmattning. Bedömning är ändå att konceptet har god potential att bli godkänd.

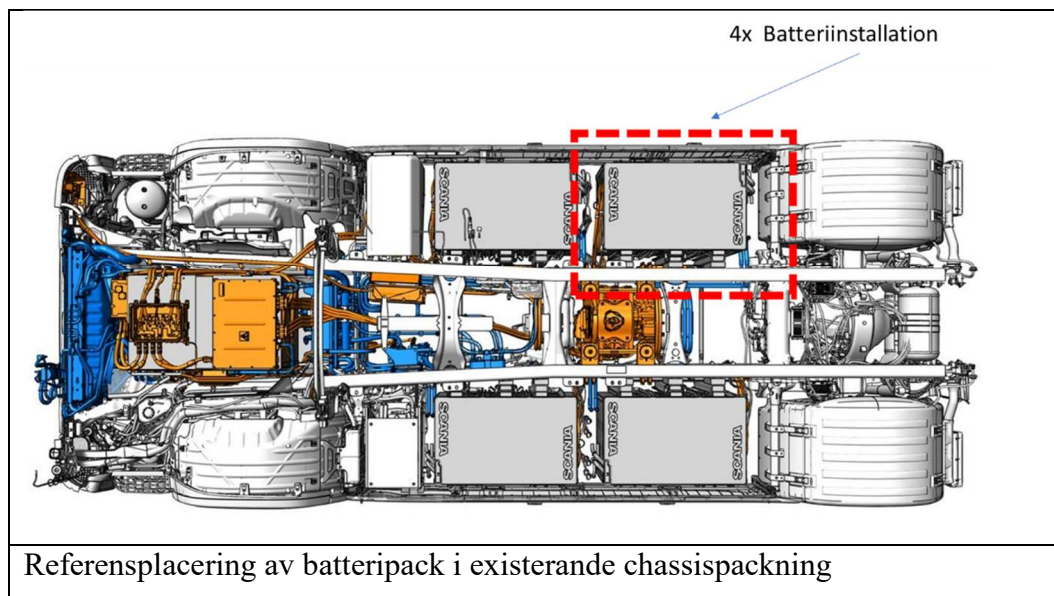
Risakanalys

En viktig del för projektets deltagare är förståelse för hur provning kan ske med tanke på risker för termisk rusning, höga spänningar, självunderhållande bränder och frisättning av giftiga gaser. Dessa analyser användes för att bedöma hur provning skulle ske. Provning av termisk rusning och effekten med den valda kylvätskan utprovades hos RISE i Borås. Ett flertal områden för risker bedömdes som resulterade i att dummies fick användas för merparten av provningen. Endast kylprovning genomfördes med skarpa batterier då provriggen är byggd som en egen brandcell.

Systemanalys

Analysen gjordes för att utvärdera systemeffekten av konceptlösningen. Analysen är utmanande då i princip den kompletta chassislösningen för lastbilen behöver modifieras. Ett försök till jämförelse genomfördes baserad på batteriinstallation

hängande på utsidan av de bärande balkarna. Resultaten visade på att en avsevärd viktreduktion kan uppnås (340-700 kg) baserad på olika jämförande batterikapaciteter som ger en ökning av installerade energidensiteten med 14%.



Diskussion

Den världsomspännande COVID-19 pandemin har orsakat utmaningar för att genomföra projektet. Både Alelion och Scania införde permitteringar som påverkade genomförande av projektet. Även prioriterade kundprojekt orsakade resursproblem under en period av projektet. Samtliga aktiviteter som var planerad att genomföras inom projektets budget kunde genomföras efter att projektet fick en förlängning på ett par månader. Dock blev vissa beslut tagna som skulle behövt genomarbetas ytterligare som påverkade bland annat viss provning.

I sin helhet har projektet påvisat potentialen med konceptet. Ett koncept baserat på bärande kompositbalkar där batterierna skyddas av balken och dessutom omsluts av ett kylande medium ger många fördelar vad gäller energidensitet, packningseffektivitet och skydd av batterierna för yttre våld. Ytterligare har kunskap och erfarenhet byggts inom ett flertal strategiskt viktiga områden för den vidare elektrifiering hos samtliga parter som t.ex. konstruktion, tillverkning, simulering och provning. Utmaningarna för en kommersialisering är dock stora men projektet har lagt den grunden som krävs för att kunna på ett effektivt sätt röra sig framåt.

Bilagor

Administrativ bilaga