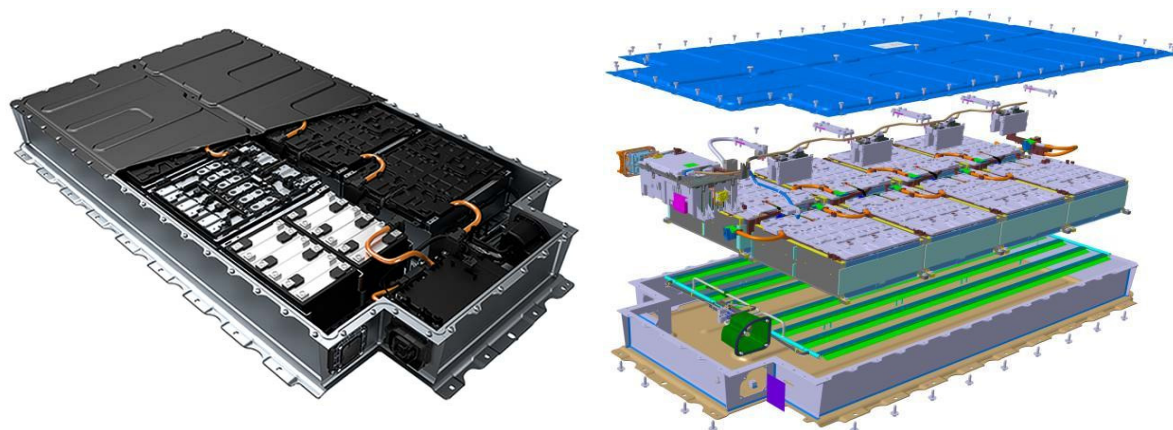


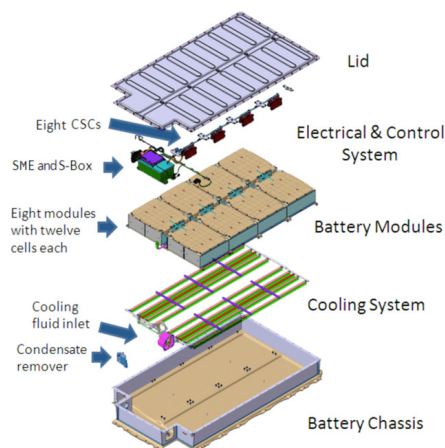
BMW I3 akku

A *BMW I3* akkujáról már nagyon régóta érett egy írás, mert elég sok *BMW* részegységéről írtam már, csak pont az akkuról nem. Pedig forrásanyag aztán lenne dögivel! Mivel a *BMW I3* meglehetősen korai, 2013-ás fejlesztés, és az igazat megvallva egy súlyos konstrukciós hibát leszámítva egy nagyszerű elektromos autó, ezért sokak érdeklődését felkeltette. (Na jó, utólag beszúrom ide, mire gondolok, mert kapni fogok a fejemre: a *BMW I3* egyetlen nagy rákfenéje, hogy az összes lényegi elektronikát belepaszírozták az *EME* nevű egységbe, amit meg fixen rászerelek a hajtómotorra. Így nem túlzok, de még a klíma kb. 8.000,- Ft-os 80A-es nagyfesz. biztosítékjának a cseréjéhez is le kell bontani a teljes hátsó hidat, kerekestől–hajtómotorostól, aztán lebontani az *EME*-t a hajtómotorról, majd azt szétbontva már csak két csavar a biztosíték a cseréje – a szerelési költség meg alsó hangon +400.000,- Ft a biztosíték mellé.)

Visszatérve a forrásokra, a „Ricardo” (<https://ricardo.com/>) pl. teljes 3D modellt épített az akkuról, és meglehetősen borsos áron, 30-40.000 USD-ért (~10 millió Ft) árulta egy időben. (Ők egy olyan cég, akik megrendelésre 3D modellezéssel foglalkoznak). Tőlük fogok idézni pár széles körben publikált robbantott ábrát. (Érdeklődőknek kötelező kicsit utána menni a cégnek, mert tucatnyi akkuról van hasonló robbantott 3D rajzuk.) Ugyancsak miszlikre szedte a híres *Sandy Munro*, aki meg a gyártási költségek kalkulációjához szedte szét az autót szó szerint csavarokra, és készített belőle egy 22.200 oldalas (!) anyagot. Mivel ez is hasonló áron ment, mint a *Ricardo* 3D modellje, esélyem sem lett volna megszerezni, de *Sandy Munro* egy nagyon megható története segített hozzájutni: iskolás évei legvégén az egyik tanára jelképes összegért „eladott” neki egy nagyon értékes szerszámkészletet, mondván, neki már nincsen rá szüksége. Évekkel később esett le neki, hogy ez nem eladás volt, hanem ajándék a tehetséges tanulójának, amit *Munro* úgy próbált meg megköszönni, hogy a *BMW I3* teljes *Cost Analysis* csomagját jelképes 10 USD-ért árulta a szakmai érdeklődőknek, amit azonnal megvettem én is. Ebből csak az akku riportja 2.628 oldal, benne a *TechInsights Inc.* / *teardown.com* teljes elektromos analízisével. (<https://www.techinsights.com/>) Olyan szinten ki van analizálva az összes elektronika, hogy a chipék típusa, a kapcsolás blokkvázlata is benne van. Szóval nem az a nehézség a *BMW* esetén, hogy mit írjak le, hanem hogy mit ne? ☺ Ennyi bevezető után csapjunk a közepébe, és rögtön nézzük meg egy robbantott 3D rajzon, miről is beszélünk:

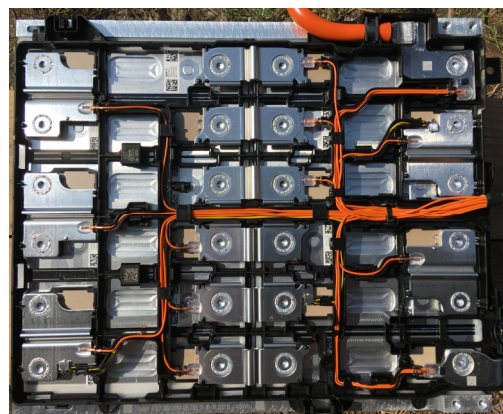
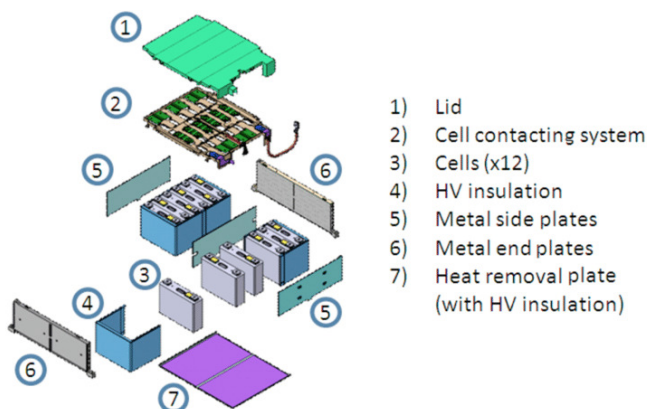


Bal oldalon láthatjuk – az akkuk közül egyedülként – a csaknem tökéletes téglatest alakú házát. Oldalfalait] alakú alumínium profilból hegesztett perem adja, ami egyszerűen a fenéklemezre van hegesztve. Ebből adódóan az akkuháza nevetségesen könnyű, egy kézzel is felemelhető. A benne lévő elemeket pedig mindössze pár belesajtolt töcsavar tartja a helyén.



Az alumínium tepsiben legalul a hűtőrendszer van, amely szintén különleges: nem hűtővíz, hanem *R1234yf* klíma hűtőközeg (legelső típusokban még *R134a*) áramlik a lapos, alig 20*2 mm-es (!) hűtőszalagokban. A hűtőrendszer szintén pihekönnyű, egy ujjal kiemelhető, így 2 csavar tartja mindössze a helyén. Nagyon meglepett, amikor megláttam, mivel a cellák mérete 45*173*125 mm (sz*h*m), azaz az összesen 700 cm² felületű cellákat csak 2 db 20*45 mm-es részen hűti, összesen 18 cm² felületen, összfelületének 2,5%-án. (Az *Opel Ampera* zacskós cellája esetén min. 49%-os a hűtőfelület aránya, ezért mondom mindig, hogy az öröklétnék készítették.) A másik furcsasága a hűtésnek, hogy bár tartalmaz egy mágnesszelepet a klíma csatlakozóban, az autóban nincs semmi extra, így az akkumulátor leszedése előtt le kell szívni a klímagázt, majd az akku visszaszerelése után vissza kell tölteni. Ezt meg lehetett volna úgy is csinálni, hogy kétoldali mágnesszeleppel tartsa nyomás alatt a hűtőkört a leszedés idejére.

A hűtőrendszert mindössze egy fekete műanyag „szoknya” nyomja az akkuk aljához, egy hővezető gumilap szigeteléshez. A neten talált fotók egy részében azonban vezetékek lógnak ki ez alól: a skandináv országokban árult ún. téliesített akkuk tartalmaznak egy önszabályozó fűtőszalagot is a hűtőrendszer alatt, így nagy mínuszokban előbb felfűti a cellákat, és csak ezt követően kezdi el tölteni. A modulok pedig 2*6 = 12 cellát tartalmaznak az alábbiak szerint:



A modulok kerete szintén sima alu profil, összehegesztve egy ritka egyszerű szerkezetbe. Kap még a tetejére egy műanyag keretet, ami helyén tartja az áthidaló elemeket és a BMS vezetékeit, aztán lézerrel kör alakban összehegesztik a fém tuskókat a lemezekkel, ami többé nem szétszedhető semmilyen módszerrel. Végezetül kap egy műanyag fedőlapot, és már kész is a modul. Ebből van benne két sorban 4-4 db, összesen 8, ami a modulonként 12 cellával 96 cellát ad ki; pont mint a *Teslában* és a legtöbb eCar-ban. Egyetlen egy részletet emelnék ki a modulok fotójáról, mégpedig az ún. szakadó-membránt, ami a következő fotón látható:



Pár éve nagy nyilvánosságot kapott az az eset, amikor egy német autókereskedésben füstölni kezdett a kiállított autó, mire a pánikba esett kereskedők tűzoltókat hívtak, akik az autót konténerbe tették és felöntötték plafonig 8-10 m³ vízzel. Ilyenkor kijön belőlem az állat, és le tudnám fejteni a tudatlan barmokat, mert erre semmi, de semmi szükség nem volt: a lítium celláknak ugyanis joguk és lehetőségük van arra, hogy füstölögjenek! Minden általam eddig látott cellán van valamiféle kigyengítés, bevágás, karcolás, amely belső zárlat esetén felreped, és kiengedi a gőzöket-gázokat, hogy azok robbanás helyett irányított módon távozzanak, és magukban a modulokban is vannak kialakított füst-csövek vagy -járatok, hogy a füst a szabadba jusson.

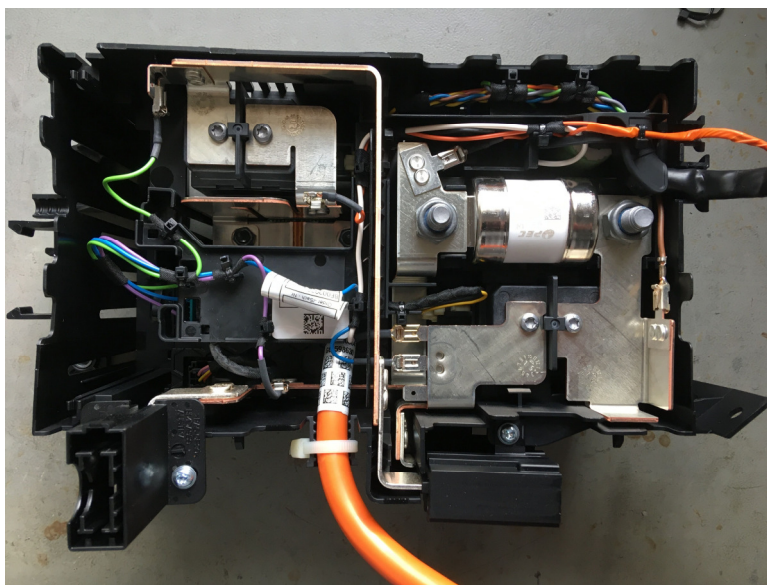
Tehát leírom még egyszer: ha egy elektromos autó füstölni kezd, hagyjuk füstölni! Eloltani nem tudjuk, mert a lítium reakcióba lép az oxigénnel, a nitrogénnel, de még a tűzoltó-homok SiO₂ (kvarchomok) tartalmából is ki tudja redukálni magának az oxigént. A vizet meg egyszerűen imádja: hidrogéngáz keletkezése mellett annyi hőenergia is képződik, hogy nem csak megolvad minden, hanem még a hidrogéngázt is begyújtja. Tehát az „okos” tűzoltóink azt kockáztatták a plafonig felöltött vízzel, hogy valami bűvárharang-szerűségben felgyúlik a hidrogén, majd berobbanva szétveti a konténert, megölve néhány agyhalottat. Valóban létező és hatásos dolog a konténeres ártalmatlanítás egy karambolos, kiégett *Teslánál*, ahol a spontán újragyulladás ellen jóformán nincs más megoldás, mint az elárasztás, de egy gyengén füstölő autót, a maga 2-300 kiló érintetlen akkujával egyenesen vízbe mártani az örülség! Hagyjuk addig füstölni, amíg tud; néha pukkanni fog, ahogy egyesével felnyílnak a cellák. Szerencsés esetben a folyamat megáll, és az autó megmenekül. Rossz esetben viszont előtörnek a lángok – na, ekkor már lehet locsolni... És ha kiégett, utána jöhet a vizes konténer. FB oldalamon ki is számoltam, hogy egy átlag akku átlag lítium tartalmát mindössze két vödörnyi víz teljesen reakcióba tudja vinni, azaz az összes lítium elbontja ezt a kevés vizet, és eléri a maximális hőfokát a tűz. De mégis havonta látok videókat meglepett tűzoltókról, akik kerti locsolóval elkezdik „hűteni” az autót, és csodálkoznak, hogy az első cseppektől berobban az egész akku!

Na, lenyugszom, mert valamiért ez nekem vesszőparipám, és mindig felb@sz az ideg, ha valaki teljesen híján van az alapvető kémiai ismereteknek. Tényleg nem túlzás, de égő lítium akkut vízzel finoman locsolni kb. olyan, mint benzinnel tüzet oltani. Végülis folyékony mind a kettő, így rá lehet locsolni – max. nem érdemes. Meg ha már víz, akkor 6-8-10 m³, nem kerti slag. Vagy ha elárasztás, akkor max. az akku fedeléig, hogy ne tudjon bűvárharangot képezni a víz, ahol a hidrogéngáz összegyűlhet. Hűteni kell, nem víz alá fojtani!

Lehiggadva és visszatérve a cellákra, a *BMW I3*-ból háromféle méret van: a 60Ah, a 94Ah és a 120Ah. Pletykák vannak a 150-160Ah-s méretről is, amely talán elkészül, talán nem. Ezt az teszi lehetővé, hogy a *Samsung SDI*, aki a prizmatikus cellákat gyártja megtartotta a cellák méretét, és amikor újabb kémiai összetétel jött, ugyanabba a házba nagyobb kapacitású cellát tudott berakni. És szintén leírtam már, hogy a cellák maguk ugyanolyan zacskós cellák, csak nem egyesével vannak zacskózva, hanem hármasával-négyesével közös fém dobozba vannak rakva. És a *BMW I3* azért alkalmazza a 60-94-120 számokat, mert soknak tűnik; mégiscsak jobban cseng az, hogy 94 Ah, mint az, hogy egy *Teslában* van 75 kWh. Az átlagembernek a 94 „izé” többnek tűnik, mint a „75” izé. Pedig ha felszorozzuk az Ah értéket a cellaszámmal (96) és a cellánként eltérő névleges cella-feszültséggel, lehervasztó kis értékeket kapunk:

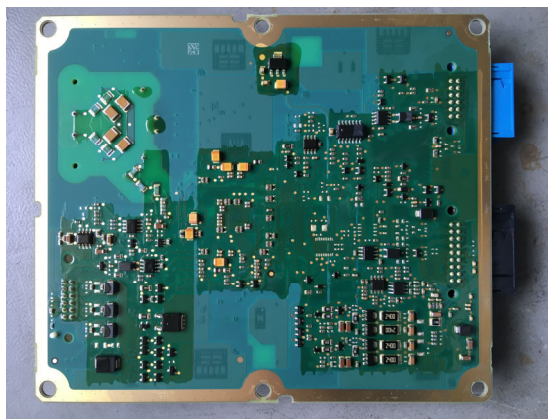
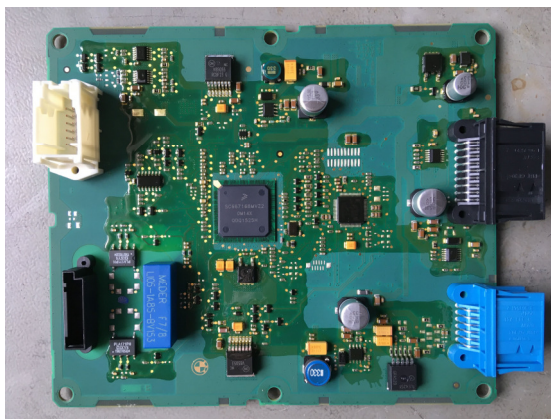
- 96 cella * 3.75V/cella * **60Ah/cella** = 21.600 Wh = 21,6 kWh (elérhető: 18,8 kWh)
- 96 cella * 3.65V/cella * **94Ah/cella** = 32.937 Wh = 32,9 kWh (elérhető: 28,0 kWh)
- 96 cella * 3.67V/cella * **120Ah/cella** = 42.276 Wh = 42,2 kWh (elérhető: 37,9 kWh)

Folytassuk az ismertetést nyugodtabb témával, a hol *Safety-Box*-nak, hol *Switch-Box*-nak, vagy ami a legbiztosabb, *S-Box*-nak nevezett egységgel. Ez tartalmazza a fő kontaktorokat, az előtöltő (*PreCharge*) ellenállást a kisebb méretű kontaktorával, és az árammérőt, tudományos nevén a *Coulomb*-integrátort, és a 350A-es fő biztosítékot. Nehéz erről jó fotót mutatnom, mert egy rendkívül kompakt kis dobozról van szó: a tetején van az *SME* panel, de erről majd később; alatta egy fedél, majd azt is leszedve valami elképesztően összetett fröccsöntött képződmény. Láttam már sok autós „dobozkát”, de toronymagasan a *BMW S-Box*-a vezet, ha a komplexitását nézzük. Tele van felöntésekkel, szellőzőnyílásokkal, fűlekkel, kampókkal, kiugró-beugró felületekkel és van benne talán egy tucat csavar. Kiszedve őket és szétpattintva elképesztően gagyi, puha és törékeny kis elemekből áll, de összerakva egy masszív kis doboz lesz belőle. Őszintén fejet hajtok a *BMW* tervezőmérnökei előtt, akik valószínűleg még ma is csuklanak, annyira pokolra kívánhatta őket a fröccsöntő szerszámosztó vállalkozójuk.

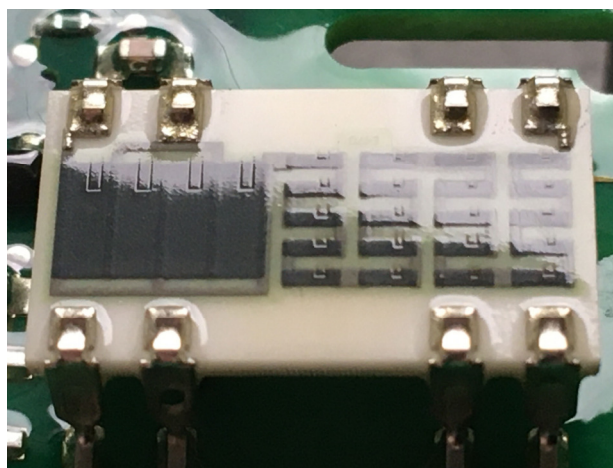
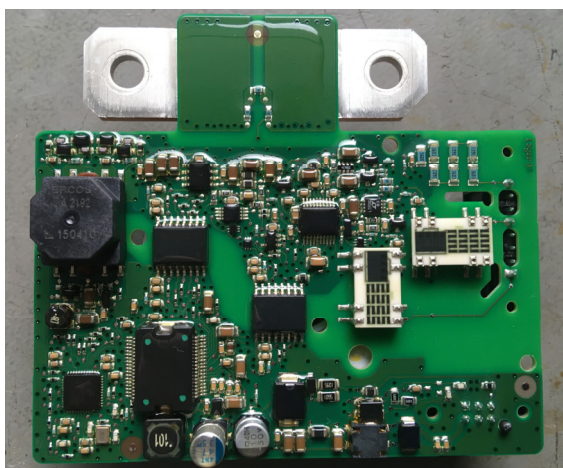


A fenti doboz bal oldalából hiányzik még egy zöld panelecske, ahogy a bal oldalon is csak a levegőbe kapaszkodik két karom: ahogy már írtam, ez az akku nem tartalmaz akkufűtést, így hiányzik belőle a fűtés-szabályzó panel, ahogy a nagyfeszültséggel dolgozó fűtés méretes csatlakozója is. A mechanikus elemek ezzel kb. el is fogytak, már csak a panelek maradtak, szám szerint három (mert a negyedik lenne a fűtőpanel): az *SME*, az áramszenzor és a *CSC*.

Az *SME* (amit több forrás is *Battery Management Electronics*-nak nevez, de hát a *BMW*-től már megszoktuk, hogy az *OBC*-t ők *KLE*-nek, az invertert *EME*-nek, a cella-figyelő panelt meg *CVTN* helyett *CSC*-nek neveznek) végzi a teljes akkufelügyeletet, azaz egyik oldalán az autóval kommunikál (meglehetősen kevés vezetéken, kb. a táp és a *CAN* busz megy csak rá), a másik oldalán pedig a modulokkal, szintén *CAN* buszon. Meglepő módon van benne egy harmadik is, amellyel meg az árammérővel beszélget – ami azért meglepő, mert kb. 10 centire van, és nem szokás *CAN* buszt használni ilyen kicsi távolságokra – mintha repülővel menne valaki Budapestről Budaörsre. A negyedik funkciója még érdekesebb: az az akku szigetelés-vizsgálata. Sokféle kapcsolást láttam már, de ennyire egyszerűt még soha: az akkunak hol a pozitív, hol a negatív kapcsára rákapcsol egy $3 \times 180 \text{ k}\Omega$ -os ellenállást, és azt méri, mennyivel tudja elhúzni a feszültséget. A rákapcsolást egy-egy *IXYS PLA171PH* típusú félvezető-relével oldja meg, hogy „ne kopjon” a sok kapcsolgatástól. De mivel a félvezetők néha tönkre tudnak menni, biztos ami biztos alapon egy nagy kék *MEDER* gyártójú reed-relé is van a három ellenállással sorbakötve. Ezt az áramkört a bal oldali kép bal alsó sarkán láthatjuk.

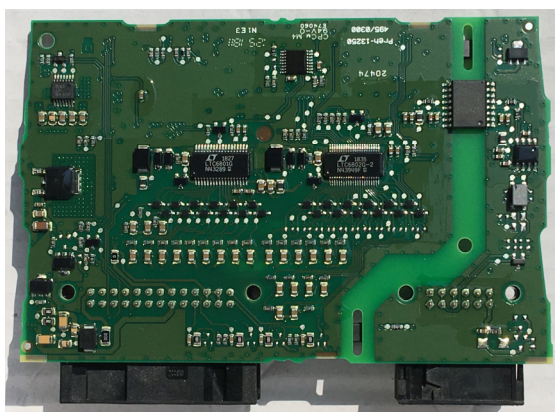
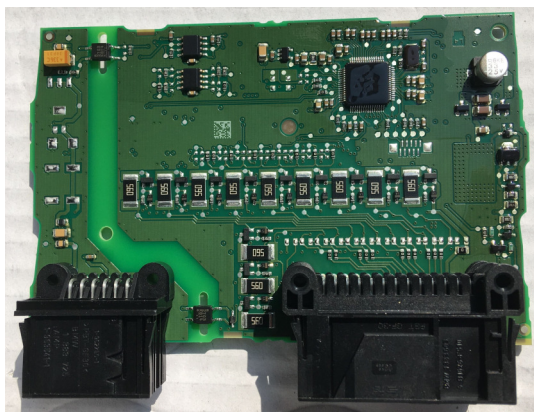


Ha már szóba került a közeli árammérő panel, amely az *S-Box* alá van eldugva, és szó szerint apró kis darabokra szét kell szedni az *S-Box*-ot a kibányászásához, jöjjön az. Igazi kis kakukktójás, mert míg eddig minden „olcsósítva” volt, ezt valaki más (szerintem a *BOSCH*, bár nincsen rajta semmiféle azonosító felirat) követhette el. Elbonyolított, lézerrel trimmelt (beállított) feszültség-osztókkal ill. bemarkással pontosított ellenállású söltellenállással készült.



Az árammérő az *AS8510* chipre épül, ami egy ritka pontos akkumulátor mérő áramkör, így érthető is a bal oldali fotón látható két fehér „feszültségosztó” alkalmazása: a körömnvi fehér kerámialapocskán 4+20 db ellenállás van egyesével lézerrel trimmelve, azaz U alakban úgy bevágva, hogy értéke elképesztően pontos legyen. A jobb oldali fotón talán lehet látni a sűrű fényben, hogy néz ez ki a valóságban. És persze ott a panelen a „kedvencem”, a *40076* is, így ezúton is könyörgök valamelyik jószívű *BOSCH* alkalmazottnak, hogy ne hagyjon hülyén meghalni, és szánjon meg az adatlapjával. Annyit tudok, hogy a tápon kívül lehet benne egy LIN és egy CAN meghajtó áramkör is, mert ezen a panelen mindkettőt használja; a LIN-t az akkufűtés vezérlésére, a CAN-t pedig a mért feszültség- és áramértékek elküldésére, amit nem kevesebbszer, mint másodpercenként 500x tesz meg! És ami még furább: nem volt nekik elég a CAN protokollba épített 16 bites CRC, hanem még a mért adatokat is külön 16 bites CRC-vel látták el. Ez is annyira „németes” és *BOSCH*-os, hogy a védelem védelmét is jól levédjük!

Végezetül a CSC jön, a *Cell Supervising Circuit*, amely a modul celláinak a feszültségét és a hőmérsékletét méri, ez utóbbit két ponton modulonként. Sőt, nem csak hogy méri, hanem duplán méri a cellafeszültségeket, mert ahogy a *Tesla Model-3*-as akkujában a *BatMan* méri és balanszolja a cellákat, a *Robin* nevű chip pedig ellenőrzi *BatMan* munkáját. Itt az *Analog Devices LTC6802-2* chipje méri és balanszolja a cellákat, oldalán pedig a kistesó, az *LTC6801* ellenőrzi a nagytesó munkáját. És mindezt már 2013-ban már belerakták, még a *Tesla* előtt!



Nem említettem eddig az akkumulátorban található kábelezéseket, amelyek megérnek egy misét. Részint elképesztően kevés van; tényleg csak a minimum, semmi felesleges vezeték. Az akku oldalán sem százpólusú adat-csatlakozó van, hanem csak egy szolid 12 pólusú, abból is csak 10 pólus volt bekötve. A belső csatlakozók a *TE MQS* szériájú reteszcsatlakozói; a legszebb és legmasszívabb csatlakozó, amit csak alkalmazni lehet. Egyetlen egy rossz dolgot tudok csak mondani a kábelezésre: azt a ragadós fekete szövet-szalagot, amivel betekerték az összes vezetéket. Az eltelt évek után a ragasztója mindenhez ragad, undorító volt, mire úgy-ahogy sikerült lehámoznom – vagy inkább csak átkennem a kezemre a javát.

Összességében ha pontoznom kellene, 10-ből a maximális 10 pontot megkapná tőlem ez az akkumulátor! És talán a személyes szimpátia is az oka, de alig 8 órámba került a belső CAN kommunikációk visszafejtése, ebből is a vezetékek „kicsomagolása” volt a leghosszabb. De ha a személyes érzéseket félreteszem, akkor is egy jól kitalált, jól összerakott, átgondolt és jó konstrukció, ami a dupla cella-figyelése miatt nem valószínű, hogy valaha is kigyullad. És ha magát az egész autót nézem, igazából nem értem, miért vonakodik annyira a *BMW* az eCar-ok gyártásától, mert ők tudnak, ha akarnak; ezzel az akkuval ezt újfent bebizonyították.

Verzió: 1.00, 2021-05-18, Tata

Varsányi Péter E.V.

Tel: +36-20-942-7232

Web: <https://varsanyipeter.hu/>

Email: info@varsanyipeter.hu