

ISMERTETŐ KIADVÁNY

ELECTROMEGA Kft.

**„Légűtéses villanymotorral hajtott 40 t teherautó
fejlesztése”**

GINOP_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00117



2024.10.31.

A kutatás fejlesztési projekt feladata olyan nagy össztömegű tehergépjármű hajtására megfelelő asszinkron villanymotor legyártása és tesztelése volt, mely alkalmas 12 kNm vonóerő leadására induláskor, és a minimális 5 perces teljesítménye eléri, vagy meghaladja a 236 kW-ot. Ehhez a feladathoz a korábban használt belső folyadékhűtéses motorunk mechanikai konstrukciójából indultunk ki, mivel a korábban sikeresen alkalmazott motorban rejlettek olyan tartalékok, melyekkel a kívánt indító nyomatékot, és az elvárt teljesítményt meg tudjuk valósítani.

A fejlesztés során létrejött termék (belső léghűtéses villanymotor sikeresen teljesítette a 12 kNm vonóerőt, és a minimum 236 kW maximális teljesítmény felvételt. (A futás tesztek során kiderült, hogy a motort közel 400 kW teljesítménnyel is meg lehet terhelni, számottevő melegedés nélkül). A kiindulási motornak választott konstrukció teljes menetkész tömegét ezzel a fejlesztéssel sikerült mintegy 200 kg-mal csökkenteni, és a hűtéshez használt szükséges segédberendezések fogyasztása, száma és bonyolultsága is csökkent. A projekt keretén belül a piacon elérhető legmegfelelőbb hajtáslánccal hasonlítottuk össze az általunk kifejlesztett hajtást, bár a pályázat befejezésének az idejében még csak olyan megoldás létezett, mely közvetlenül nem tudja leadni nyomatékváltó nélkül a szükséges nyomatékot, de extrapolálással mégis össze tudtuk hasonlítani az általunk fejlesztett villanymotor adatait a kereskedelmi forgalomban kapható eszközzel.

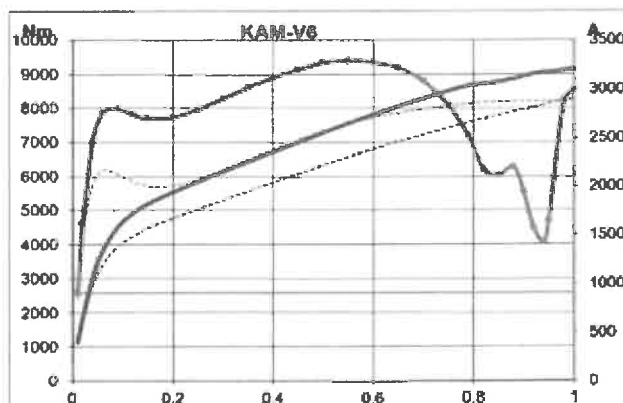
Sikerült továbbá olyan tesztelő és előminősítő eszközöket beszerezni a pályázat keretén belül, melyek alkalmazásával anélkül tudjuk letesztelni az elkészült termékeket, hogy azokat először járműbe kellene építeni. Ez a gazdaságos és üzembiztos forgalmazáshoz elengedhetetlen. A járműbe épített motor/motorok összehasonlításával sikerült olyan vezérlési módokat találni melyekkel további 3%-8% energiamegtakarítás érhető el annak függvényében, hogy milyen a felhasználás módja. Így elérhető volt a korábban tervezett 250 km-es hatótávhoz egy nagyon közeli, 246 km, amivel sikerült a jármű teljes fogyasztását 780 Wh/km értékre csökkenteni.

A pályázat keretében beszerzésre került alkatrészeket, anyagokat egy léghűtéses villanymotor teszteléséhez, fejlesztéséhez használtuk fel.

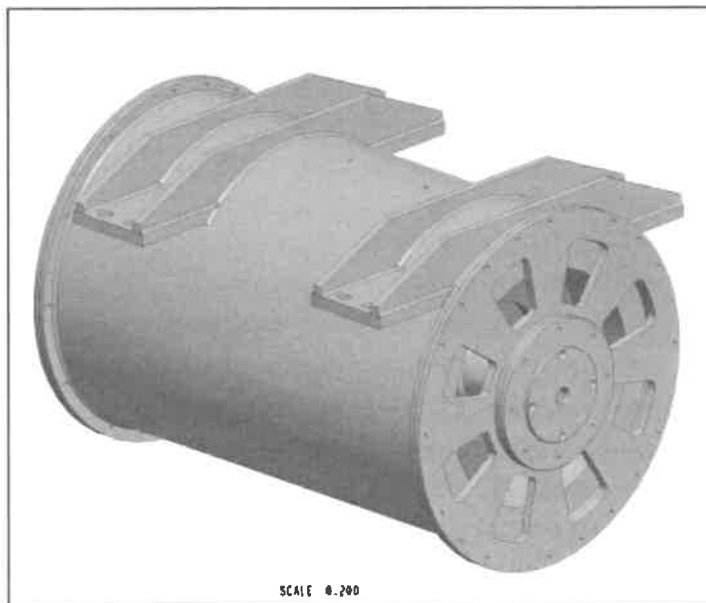
Előzetesen terveztünk egy léghűtéses házat a korábban kipróbált, és jól működő belső folyadékhűtésű motornak (KAM V6-2) típusjellel. A pályázat keretében ennek a motornak a kifejlesztése volt a feladatunk.

Az asszinkron motorokra általánosan jellemző tulajdonságok a szokásos felhasználás mellett (fix frekvenciával forgó mágneses teret kapcsolva a motor kapcsaira) alkalmatlanná teszik nagy indító nyomatékú felhasználásra. Korábban sikeresen bemutattuk, hogy ez egy megfelelően választott meghajtó berendezéssel, és kapcsolási technikával feloldható.

A villanymotorok üzemi paramétereinek meghatározása után (összevetve a korábban elért eredményekkel) sikerült egy olyan villanymotor tekercselési tervét elkészíteni, mely a következő paraméterek szerint működik (diagram 1). A számítógépes szimuláció nem tette lehetővé változó frekvenciájú forgó mágneses tér alkalmazását a tervezéshez, így a diagramm a névleges fordulatszámon mutatja a villanymotort, amelyhez a teljesítményvezérlő mintegy 25-30% túrtelhelését tudja hozzátenni alacsony teljesítményű pontokban, megnövelve így a villanymotor indító nyomatékát.



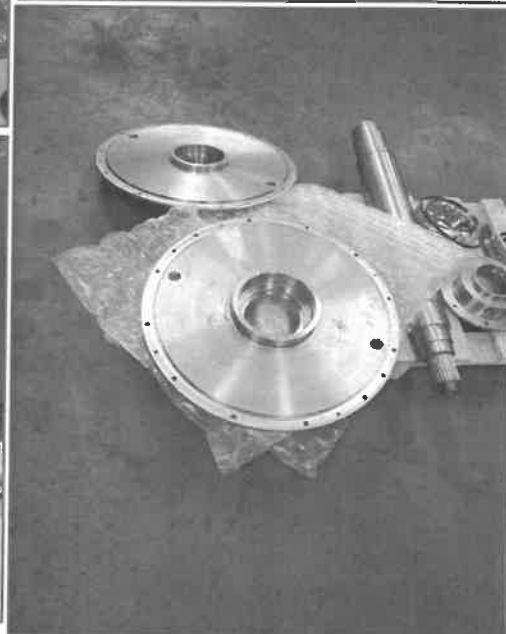
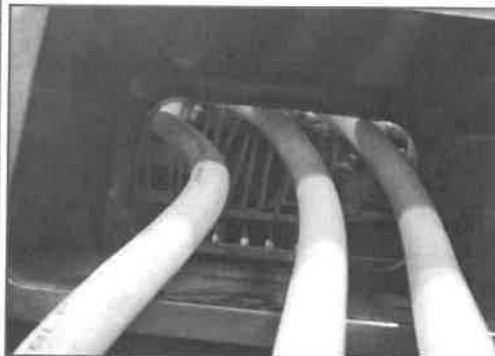
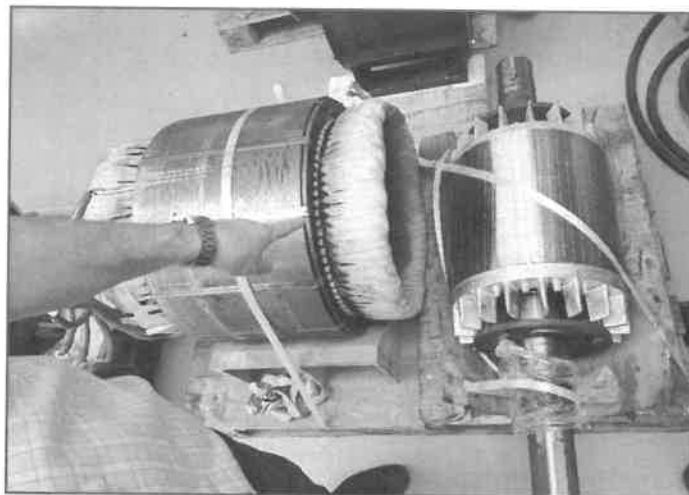
Az ígéretes paraméterek után terveztünk egy olyan konstrukciót, melyben a villanymotort a korábban beépíthető helyére el tudtuk helyezni. A konstrukció látványtervét mutatja az



ábra, a részletes műszaki dokumentációt a projektdosszié tartalmazza. A konstrukció egyik előnye, hogy a légűtés beömlő nyílásait olyanra terveztük, hogy egyszerű átalakítással akár kényes szellőztetésűre is alakítható ugyanakkor képes elviselni (megtámasztja) a motor által leadott nyomaték maximális értékét. A beltéri tesztelés után elsődlegesen a nagyobb mechanikai szennyeződések (kavicsok, sár) kellett védeni a villanymotort, mert a gyártás

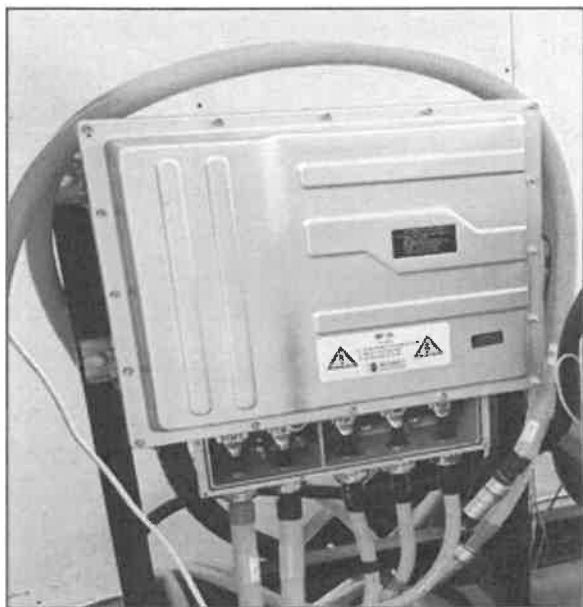
során olyan védőréteget kapott a tekercselés, amely belsőleg teszi vízhatlanná a tekercselés, ugyanakkor ellenáll az aprószemű pornak is.

A villanymotor méretei és a tervezett paraméterek miatt beszereztünk olyan nyomatékmérő padot, mely alkalmas a kívánt paraméterek tartós mérésére. A tesztek alatt az is kiderült, hogy a villanymotort képes a tesztpad annyira túlterhelni, hogy tönkremegy, ami a kísérlet szempontjából előnyös, hiszen lehetőségünk nyílik a határait feszegetni a tervezett berendezésnek.



Ehhez beszereztünk egy olyan tesztpadot, melyen a motor alap beállítását el lehet végezni, majd beszerelve egy elektromossá alakított tehergépkocsiba nyomatékmérő padon is meg lehet vizsgálni a motor paramétereit is.

Idő közben kiderült, hogy habár a motor képes nagyobb teljesítmények leadására, a korábban alkalmazott teljesítmény vezérlő kimeneti árama nem elegendő, ezért

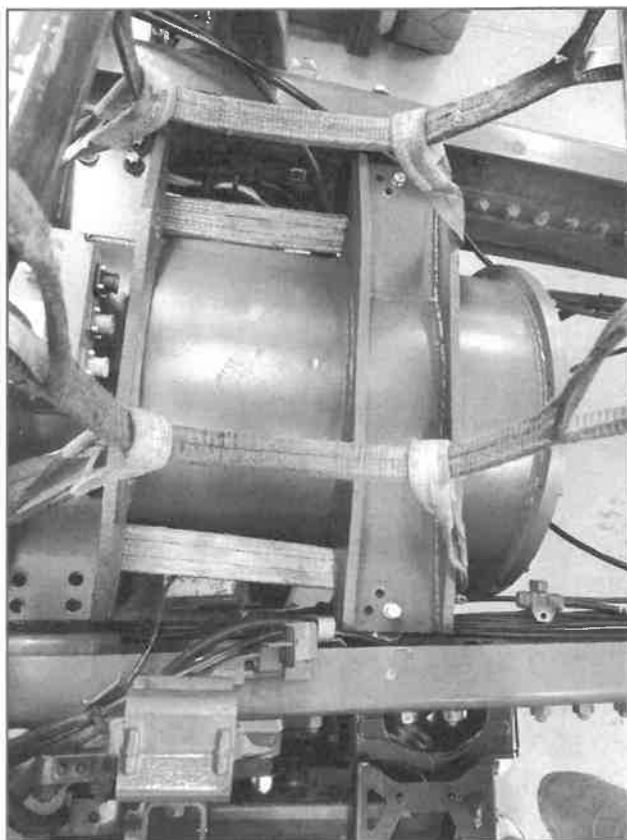


vásároltunk egy nagyobb teljesítményű (névleges áramú) berendezést (INVT) mellyel megpróbáltuk elérni a pályázatban kitűzött célt. Ez a berendezés vízhűtéses, ezért a teszthez kiépítettünk a vezérlőhöz való hűtőkört is. Az elvárt méretben, ebben a teljesítmény tartományban léghűtéses vezérlőt nem lehet beszerezni. Sajnos hossza beállítás, és számtalan kísérlet során kiderült, hogy ez a frekvenciaváltó működteti ugyan a villanymotort, de sajnos nem tudja az elvárt kimeneti paramétereket (nem lehet folyamatmentesen és gyorsan változó módon vezérelni, ehhez a villanymotorhoz tartozó beállításokkal, amely

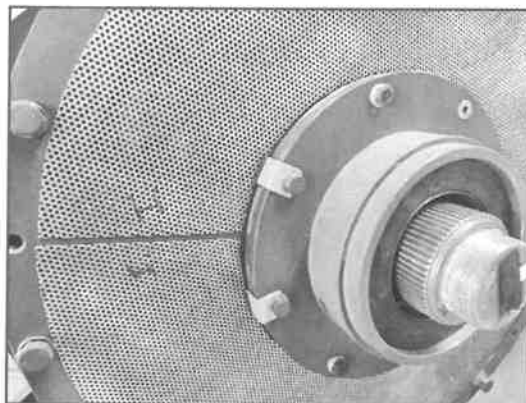
elengedhetetlen a járműbe való építéshez), ezért vissza kellett térnünk a korábban használt vezérlőhöz.

A korábbi tesztek alatt előfordult, hogy a tesztberendezést a maximális nyomaték elérésének érdekében túlterheltük (a tesztek alatt ez többször is előfordult, de csak az egyik alkalommal került javíthatatlan állapotba), így amikor visszatértünk a korábban alkalmazott teljesítmény vezérlőhöz, a motor működésképtelenné (javíthatatlanul) vált, így nem maradt más, mint az állórész, és a sérült alkatrészek cseréje.

A beltéri tesztek után a villanymotor beépítésre került egy korábban már a hajtásláncunkkal szerelt, és engedélyezett járműbe, amit azért építettünk be, hogy kiderüljön a villanymotor léghűtése mekkora



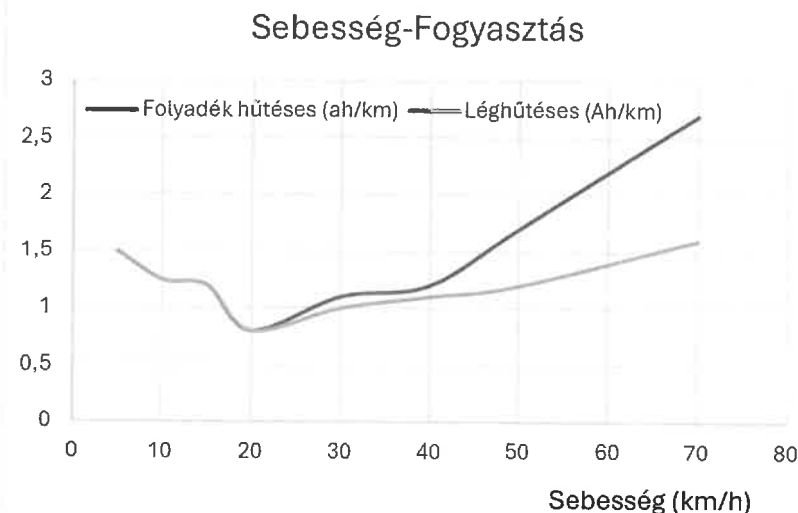
mértékben csökkenti a jármű fogyasztását. A beépítéssel további célunk az volt, hogy az új típusú villanymotort környezeti teszteknek is kitehessük, továbbá hogy lássuk hogyan integrálható a már meglévő hajtásláncba. A beépítés közben helyeztük el a villanymotoron azokat a részecske leválasztó lemezeket, melyekkel megakadályozható, hogy a nagyobb szennyeződések bekerüljenek a villanymotor belsejébe. A szűrőlemezeket 2 mm-es rozsdamentes perforált lemezből készítettük,



melyeken 1 mm-es kerek perforált furatok vannak. Ez elegendő védelmet biztosít a motornak, mivel a forgórész és az állórész közötti légrés ettől valamivel nagyobb. A folyadékállóságát a belső felületkezelés biztosítja, továbbá a villanymotort úgy helyeztük a járműbe, hogy a menet irány szerinti hátrafelé irányba lejt (egyébként ezt a kardánszögek is megkövetelik), így az esetlegesen befolyt víz a perforált lemezeket keresztül távozik. Mivel a villanymotor belseje teljesen vízálló, így akár folyamatosan vízben is képes működni, tehát nem okoz gondot a tengelymagasságig való fertőtlenítő fürdőn való áthaladás sem, amely ebben az alkalmazásban elvárás volt. A futástesztek alatt

tapasztalt fogyasztási adatokat összevetve egy korábban belső folyadékű motorral mutatja a diagram.

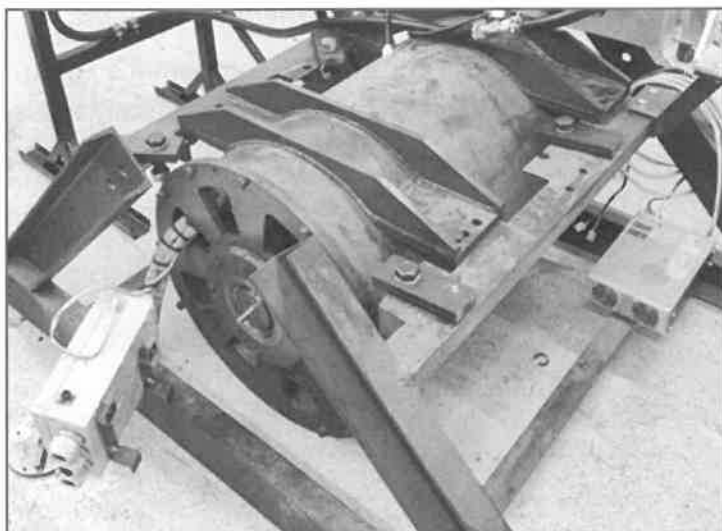
Az adatokból jól látszik, hogy az alacsony sebességek mellett a léghűtés a folyadékok lassú lameláris áramlásai és a viszonylag kicsi ellenállás erői miatt



nem jelent számottevő megtakarítást a folyadékű hűtéssel szemben. Ellenben már 50 km/h sebességnél is jelentős (42%) fogyasztás csökkenés érhető el. Ebben a kísérletben az is kiderült, hogy csak bizonyos alkalmazásokban van értelme léghűtéses motort alkalmazni. Amennyiben az elektromos teherautó átlagos sebessége nem haladja meg a 40-50 km/h (mint mondjuk egy hulladékgyűjtő esetében) a rendszer alkalmazása nem jelent jelentős megtakarítást, vagy hatótávnövekedést. Azonban olyan esetekben, ahol az

átlagos sebesség 70-80 km/h körül van, ott akár 50% os megtakarítást is eredményezhet, elérve akár 1,5 szerez hatótávot.

A beépített villanymotor teljesítette a 26 tonnás jármű mozgatásához elvárt paramétereket, azonban a padon tapasztalt teljesítmény/nyomaték adatokat nem tudta visszaadni. Ennek az oka elsősorban abban lehet fel, hogy a járműbe korábban beépített teljesítmény vezérlő nem rendelkezett akkora áram/teljesítménnyel, mint a padon lévő berendezés. Sajnos a kereskedelmi forgalomban kapható teljesítmény vezérlők, (amelyek nem kifejezetten autóipari dobozolásal készültek) mind akkorák, hogy a korábban megépített vezérlődobozba már nem lehet őket beszuszakolni, így a villanymotort kisereltük a járműből, és további tekercselések átalakítására újratervezésre elküldtük a gyártóhoz.



Szítészereléskor kiderült, hogy a korábbi beszerelés során a környezeti tényezők hatásai számottevően nem rontották a villanymotor szerkezeti/elektromos integritását, tehát a korábban feltételezett IP55-ös védelem feleslegesen bonyolítaná a kész berendezést, ezért ezt elvetettük.

A további tesztek alatt kiderült, hogy semmilyen tekercselési móddal nem lehet tovább

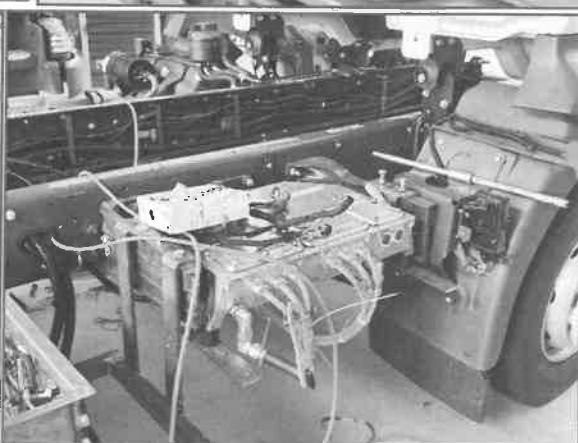
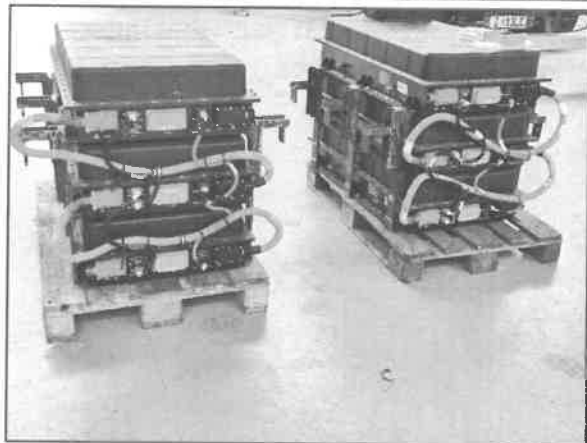
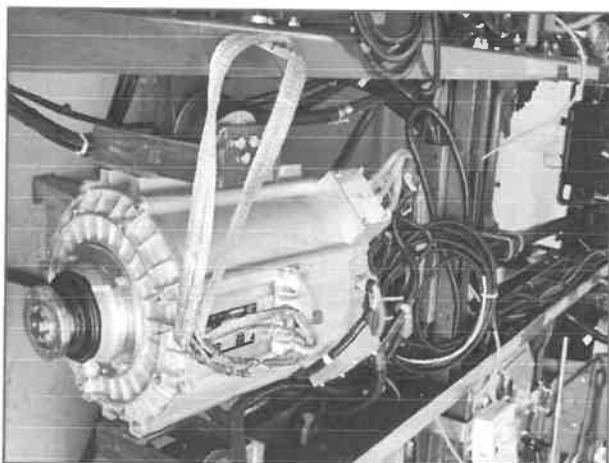
növelni a motor kimeneti paramétereit, mindenképpen szükséges a teljesítményvezérlő nagyobbra/másmilyenre cserélése. A szokásos tekercselési módok mellett (Csillag/Delta) kipróbáltunk lebegő csillagpontos tekercselést is, Dhalander elvű tekercselést, és mivel a teljesítményvezérlővel lehetséges több, de azonos motor vezérlése, a kettős tekercseléseket is.

Megvizsgálva a piaci lehetőségeket azt tapasztaltuk, hogy csak villanymotorral egybe,



mint rendszer kaphatunk olyan teljesítmény vezérlőt, mely tudja a szükséges paramétereket, vagy amennyiben közvetlenül a fejlesztőket kerestük meg a kérésünkkel, közölték, hogy csak nagyobb darabszámban, és további hosszas fejlesztéssel tudják megvalósítani azt, amire nekünk szükségünk van (nagy teljesítménysűrűség a kimeneten, akkumulátoros üzem, korlátozott méretben és súlyban).

Ezért egy, a kereskedelmi forgalomban kapható egymással kompatibilis motor-
teljesítményvezérlő megvásárlása mellett döntöttünk (**DANA MP-340_240-05**), mely teljesít
a szükséges



paramétereket (gyártói egyeztetés, és számítógépes szimulációk után).

A kipróbálás célja az volt, hogy olyan összehasonlító adatokat nyerhessünk, melyek segítségével a tervezők tovább tudják növelni a villanymotorunk nyomatékát, teljesítményét úgy, hogy a korábbi 3 fázisú motor helyett 6, vagy akár 9 fázisú tekercselést tudjunk alkalmazni. Ennek az előnye a további méret csökkenés, és akár hatásfok javulás (függően az alkalmazott tekercselési eljárástól) is lehet. Azonban, mivel a kereskedelmi forgalomban elsősorban 3 fázisú berendezések üzemeltetésére alkalmas teljesítményvezérlőket lehet kapni, további egyeztetéseket folytatunk olyan gyártókkal, akik képesek/hajlandóak több fázisú tekercselésű motorhoz gyártani teljesítmény vezérlőt.

Elkészült egy olyan belső léghűtéses villanymotor, melynek az indító nyomatéka nagyobb, mint 12 kNm. A villanymotor maximális terhelhetősége ~400 kW. A villanymotorhoz szükséges kiegészítő hűtő teljesítmény a korábbi ~20%-40% ról lecsökkent mintegy 2%. A villanymotor menetkész tömege a korábban alkalmazott eljárással szemben 200 kg-al csökkent. A léghűtéses villanymotor belső felületkezelésének köszönhetően az IP 55-ös szigetelés elhagyható. A járműbe épített léghűtéses villanymotor a jármű teljes hatótávolságát ~200 km ről ~250 km re növelte. A villamos teljesítményfelvétele az átmeneti hőmérsékletű, és a kifejezetten hideg időszakban 20%-kal csökkent.

A kiindulási villanymotor elsődleges hibája az volt, hogy habár könnyen elviseli a nagy indítónyomatékhoz szükséges áram lökések a belsőleg alkalmazott olajhűtés miatt, azonban a magasabb fordulatszám tartományok esetében a belső olaj által keltett kavitáció a motor élettartamának jelentős csökkenéséhez vezetett. Továbbá egy másik fontos probléma, hogy az olaj (legyen bár annyira híg mint a transzformátor olaj) belső ellenállási erői különösen turbulens áramlás esetében jelentősen növelik az ellenállási erőket. Ezeket a problémákat tudtuk feloldani a pályázat keretében elkészült léghűtéses motorral. A motor fő paraméterei a következők: indító nyomatéka $\geq 12\,000\text{ Nm}$, maximális villamos teljesítménye ~400 kW, hatásfoka közel a teljes működési tartományában ~ 80 %. Menetkész tömege 650 kg, melyhez nem tartozik semmilyen egyéb csőrendszer, folyadéktartály, szivattyú stb., ami a folyadékhűtéses motorhoz elengedhetetlen, ezért további ~100 kg-mal csökkent a beépíthető menetkész tömeg. A léghűtéses villanymotor tulajdonságait teszteltük próbapadon, és járműbe építve is (a próbajármű egy 26 T összterhelhetőségű 3 tengelyes Renault típusú tehergépjármű volt, melynek a menetkész tömege a felépítményével együtt 16 400 kg. Ez a terhelés alkalmas volt a villanymotor tesztelésére, és a határ adatainak a vizsgálatára különböző forgalmi helyzetekben.

A tesztek alatt kiderült, hogy a korábban meghatározott koncepció, mely szerint a léghűtéses villanymotornak IP 55-ös besorolásúnak kell lennie, nem helytálló, legalábbis az élettartamot károsan alig befolyásolja a léghűtéses villanymotor alacsonyabb IP besorolása, amennyiben a tekercselés, és a belső alkatrészek megfelelő felületkezelést kapnak, cserébe a hűtéshez használt ventilátor/ventilátor-meghajtás elhagyható, tovább

csökkentve a segédberendezések fogyasztását. A villanymotor forgórészén elhelyezett terelőlapátok elegendő hűtést biztosítanak a robosztus kialakítású tekercselésnek, melyről a tesztek alatt az is kiderült, hogy rövid ideig (30 perc) hűtés nélkül is tudják mozgatni a forgalmi helyzetekben a tehergépjárművet. A pályázat alatt megvizsgáltuk, hogy amennyiben a jármű a közúton szokásos időjárási körülményeknek van kitéve, hogyan módosul a belső elemek (elsősorban a forgórész, és a légrés) állapota. Kiderült, hogy tartós locsolással, és korrózív vegyületek alkalmazásával el lehet ugyan azt érni, hogy felületi elváltozások megjelenjenek az elemeken, amennyiben a járművet hosszú ideig nem mozdítják meg, ellenkező esetben a hajtás közben felszabaduló hulladékhő elegendő ahhoz, hogy a motor belső elemeit szárazon és korrózió mentesen tartsa, amit a léghűtés is elősegít.

Ezzel, hogy a léghűtéses villanymotorhoz nem kell további levegő befújó elemeket, és ventilátorokat alkalmazni további eredményként lehet megemlíteni, hogy a korábban a ventilátorok által keltett zaj is csökkent (ami a nagy fordulatok és a kis lapátátmérő miatt a jármű jelentős többlett zajterhelését adta). További eredményként kell megemlíteni, hogy a legnagyobb hőelvonási igénytel rendelkező villanymotor léghűtésesre alakításával megszűnik az igény a folyadékhűtéses teljesítmény vezérlő iránt, vagy olyan vezérlőt lehet alkalmazni, mely habár folyadékhűtéses, de jóval kisebb teljesítményű segédszivattyúval ellátható a hűtése, mivel a folyadékot nem kell a villanymotor átáramoltatni. Ezzel párhuzamosan lehetővé válik olyan vezérlődoboz építése, melyet teljesen be lehet zárni (IP 65) ugyanis nem tartalmaz olyan elemet, amit külső levegővel hűteni kellene. A doboz anyagából kialakított hűtőfelületek elegendő hőelvonást biztosítanak a bent lévő (immár kis veszteségű elemek) hűtésére. Ezzel tovább egyszerűsödik a teljes konstrukció, illetve a korábbi ventilátorokat, amelyek a teljesítmény vezérlő elemek hűtését biztosították a vezérlő dobozban, szintén elhagyhatók, ami ismételt zajcsökkenést eredményez.

További eredményként lehet tekinteni, hogy a korábbi konstrukcióhoz képest egyszerűbb, megbízhatóbb, üzembiztosabb hajtáslánc jöhet létre, természetesen ez függvénye az adott felhasználási módnak is.

További információ kérhető:

Kőszegi Dániel ügyvezető igazgató

Tel: +36-20- 937-4142

E-mail: daniel.koszegi@electromega.hu