

Lézergyújtás és égés közvetlen befecskendezésű Otto-motorban

A lézergyújtás Otto-motorban való alkalmazására vonatkozóan a korábbi kísérletek jelentős előnyökkel mutattak, akkor, ha a szegényebb benzin-levegő keverék (homogén) gyulladásának elérése volt a cél. Emellett azonban nagy hangsúlyt fektettek a gyulladás és az égéslefutás optimalizálására is a közvetlen befecskendezésű tüzelőanyag-sugár vezetett égési eljárással üzemelő motorokban.

Bevezetés

A közvetlen befecskendezésű tüzelőanyag-sugár vezetett égési eljárással üzemelő Otto-motorokban kialakuló jelentős mértékű töltetrétegződés magas követelményeket támaszt a gyújtásrendszerrel szemben. A lézergyújtás előnyei közé tartozik a kopásmentesség, a nagy hatásfokú energiaátvitel és a változtatható gyújtási hely. Egy nagy energiájú lézerimpulzus fókuszálása révén, amely nanoszekundum tartományú pulzustartammal rendelkezik, optikai áttörés jön létre, amelynek következtében plazma keletkezik. Ez a plazma egy lángmagot (lángfészket) képez, amelyből megfelelő feltételek mellett, egy önmagát fenntartani képes lángfront képződik. A fókuszáló lencse optikai tengely mentén való eltolása segítségével a plazma a befecskendezési sugár tartományába eltolható, lehetővé téve ezzel, hogy a gyulladás helye az égéslefutásra befolyással legyen. A Karlsruhei Technológiai Intézetben (Karlsruher Institut für Technologie, KIT) a lézergyújtás által keltett égés termodinamikai és optikai optimalizálását egy optikai hozzáféréssel rendelkező egyhengerű motoron hajtották végre. Erről lesz szó a következőkben.

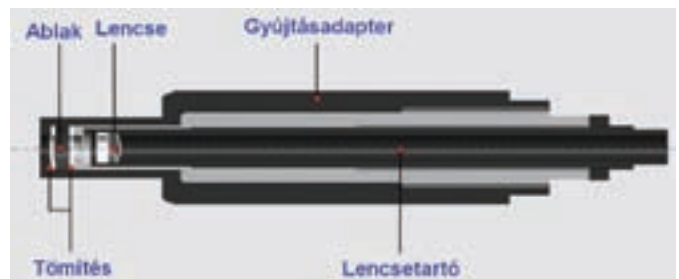
A próbamotor és a gyújtásrendszer

A szakértői vizsgálatok bázisát egy egyhengerű M272DE35 motorkóddal rendelkező Daimler AG által gyártott motor képezte. Ezt a motort 2006-ban, sugárvezetett elégetési eljárással üzemelve, és hozzá egy szegénykeverékes üzemhez tervezett kipufogógáz-utánkezeléssel szériában gyártották. A próbamotor technikai adatai az 1. táblázatban vannak összefoglalva. A befecskendezés egy az égéstér közepén elhelyezett kifelé nyitó szelep segítségével jön létre, 200 bar befecskendezési nyomáson. Összehasonlító gyújtórendszerként egy tranzisztorvezérlésű tekercs energiátárolású (TSZ) rendszer és egy hagyományos gyújtógyertya szolgál, amellyel elérhető gyújtási energia 110 mJ. A gyulladási folyamatok analizálásához összesen négy optikai hozzáférés áll rendelkezésre.

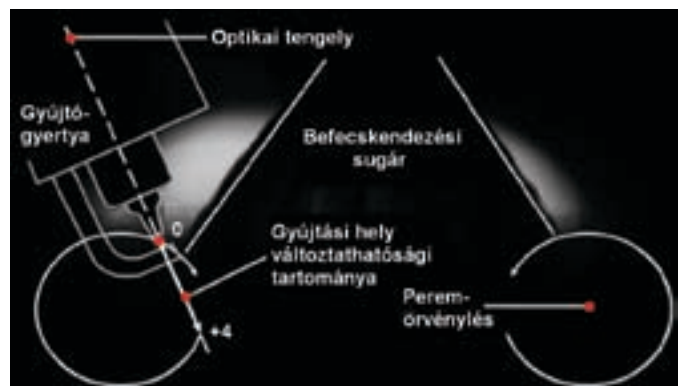
A lézergyújtás alapját egy változó pul-

zuszfrekvenciájú Nd:YAG jelű kétsugaras lézer képezi. A két független rezonátor a különböző gyújtásstratégiák ábrázolását teszi lehetővé. A két lézersugarat a kívánt időközlel egymáshoz képest el lehet tolni vagy egymásra lehet fektetni. Egy szintetikus kvarcüvegből álló aszférikus lencse ($f_f=22,6$ mm) szükséges a lézersugár égéstérbe való fókuszálásához.

A lencsét - és ezzel a gyújtás helyét - az optikai tengely finommenetes kialakítása segítségével a tengelyen 0-4,5 mm határok között a kívánt pozícióba el tudják mozdítani. Az elmozdulás a gyújtógyertya szikraközéből kiindulva a dugattyú irányá-



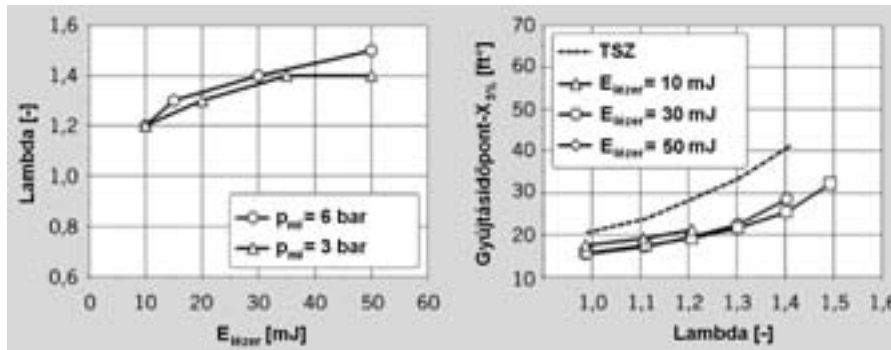
1. ábra



2. ábra

Bázismotor	Mercedes-Benz M272DE35
Építési mód	Egy henger, vízhűtés, négy szelep, háztető alakú égéstér
Sűrítési viszony [-]	11,68:1
Lökettérfogat [cm ³]	583
FuratxLöket [mmxmm]	92,9x86
Injektortípus	A-szelep
Befecskendezési nyomás [bar]	200

1. táblázat



3. ábra

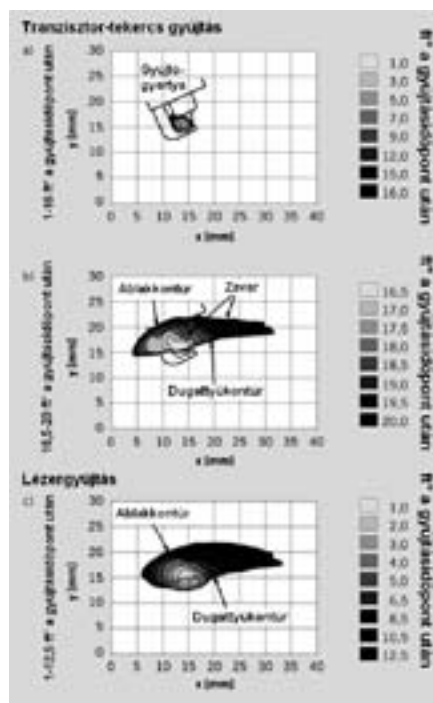
ba lehetséges. Egy zafrüvegből készült ablak védi a lensét az égéskor keletkező káros hatásoktól. Az optika az ún. gyújtásadapterben van elhelyezve, amely az eredeti gyújtógyertyafuratba becsavarható. A gyújtásadapter az 1. ábrán látható. A 2. ábra mutatja a lézergyújtás sugárelmozdulásának lehetőségét a hagyományos gyújtógyertya-kialakításhoz való hozzárendeléssel és a befecskenedési sugarat. A lézer gyújtórendszer technikai adatai a 2. táblázatban vannak összefoglalva.

Építési mód	Nd:YAG
Hullámhossz [nm]	1064
Pulzusfrekvencia [Hz]	0-50
Pulzustartam [ns]	4
Pulzusenergia [mJ]	2x25
Lézersugár-átmérő [mm]	~2
M2 [-]	~1,5

2. táblázat

A lézergyújtással kialakított gyulladási tulajdonságai, a szegényfutáshatár és gyulladási viselkedés

A gyulladási tulajdonságokat először homogen üzemben, konstans helyzetből kiinduló égések során vizsgálták. A 3. ábra bal oldalán láthatók a szegényfutáshatárok $p_{mi} = 3$ bar és $p_{mi} = 6$ bar indikált középnyomások esetén. Már egy minimális $E_l = 10$ mJ energiával is lehet kihagyásmentes motorüzemet maximum $\lambda = 1,2$ -ig realizálni. A lézerenergia növelése lehetővé teszi a keverék további szegényítését maximum $\lambda = 1,4$ -ig $P_{mi} = 3$ bar, és $\lambda = 1,5$ -ig $P_{mi} = 6$ bar esetén. Nagyobb terheléseknél a szegényfutáshatár a kisebb lézerenergiák irányába tolódik el. Az optikai áttörés után, praktikusán a teljes besugárzott lézerenergia a plazma által abszorbeálódik.



4. ábra

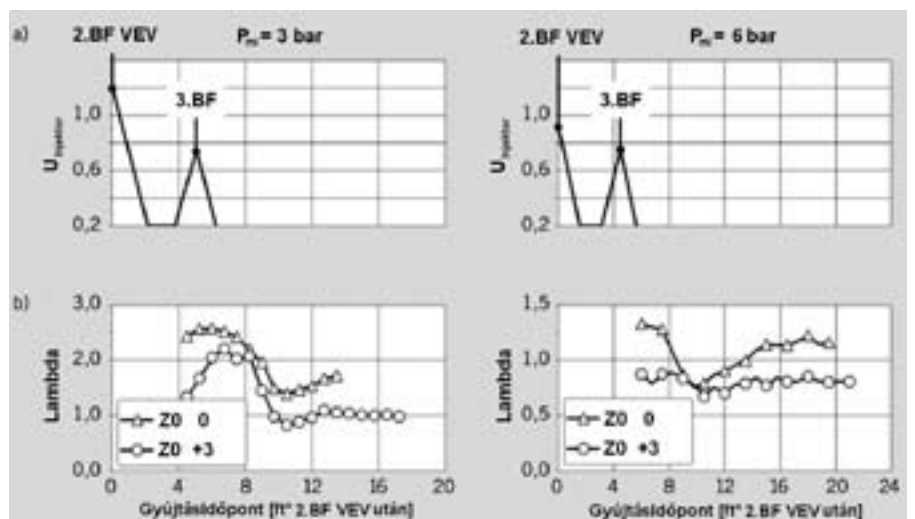
Nagyobb nyomásnál csökken az optikai áttöréshez szükséges energiaküszöb, ezáltal a lézerenergia nagyobb hányada alakul át, és áll rendelkezésre a gyulladáshoz.

A 3. ábra jobb oldalán látható az égési késedelem $p_{mi} = 3$ bar esetén különböző lézerenergiákkal összehasonlítva a hagyományos tranzisztoros gyújtást (TSZ). Függetlenül a lézerenergiától a gyulladás sokkal gyorsabban megy végbe, mint a hagyományos gyújtás esetén. Ennek okai, egyrészt az elektródák hiánya miatti kismértékű hővesztés és a nagyobb távolság az égéstér falától, másrészt a meglehetősen rövid plazmafennállási idő alapján a határos, lángmagba történő energiabecsatolás.

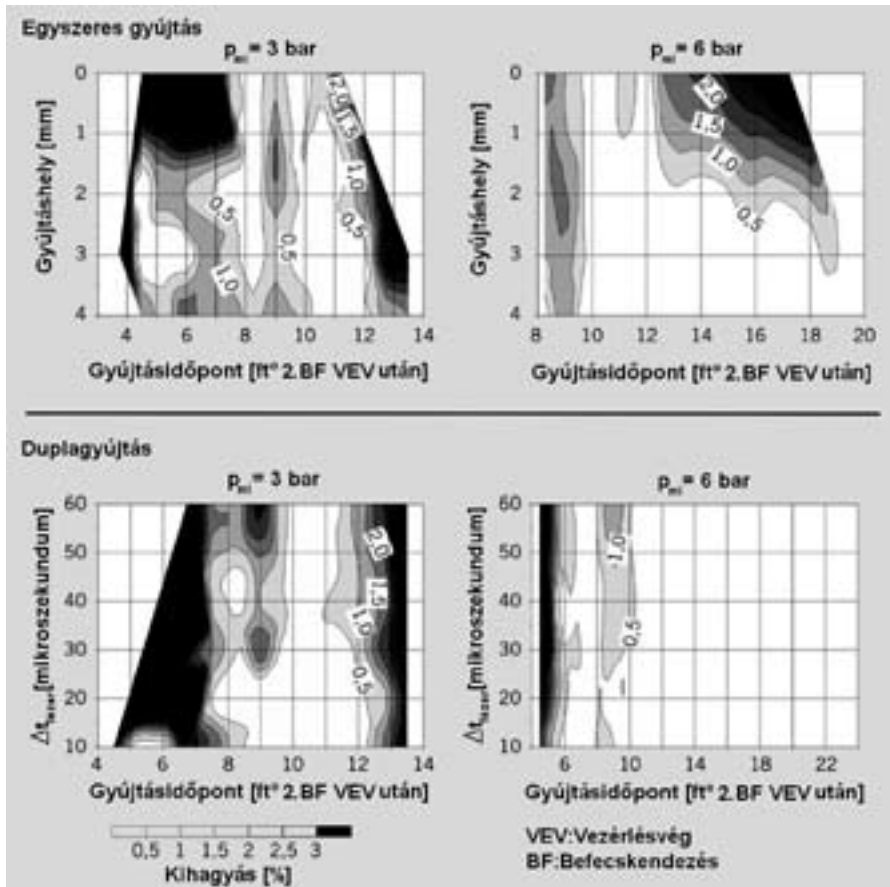
A 4. ábra egy összehasonlítást mutat a lángterjedésre vonatkozóan lézergyújtással (LZ, Laserzündung, Laserinduzierter Zündung) és hagyományos gyújtórendszerrel. A láng alsó részét a dugattyúteknő lefedi. Lézergyújtásnál a lángterjedés majdnem gömbszerűen alakul ki, (4. ábra c része). Tranzisztorgyújtásnál a lángmagképződés kezdődő zavara, (4. ábra a rész) a gyújtógyertya hővesztése miatt még meglehetősen távol a gyújtási időponttól a lángfrontban felismerhető (4. ábra b rész).

Hogyan alakítja a gyújtásstratégia a rendszer robusztusságát rétegezett keverékű üzemben

A levegő-tüzelőanyag keverék jelentős mértékű rétegezettsége tüzelőanyagcsugárvetett elvétől eljutás során ahhoz vezet, hogy a keveréket csak egy nagyon szűk időbeli tartományban lehet biztosan gyújtani. A lézergyújtás esetén változó gyújtáshely rétegezett keverékű üzemben azzal a lehe-



5. ábra



6. ábra

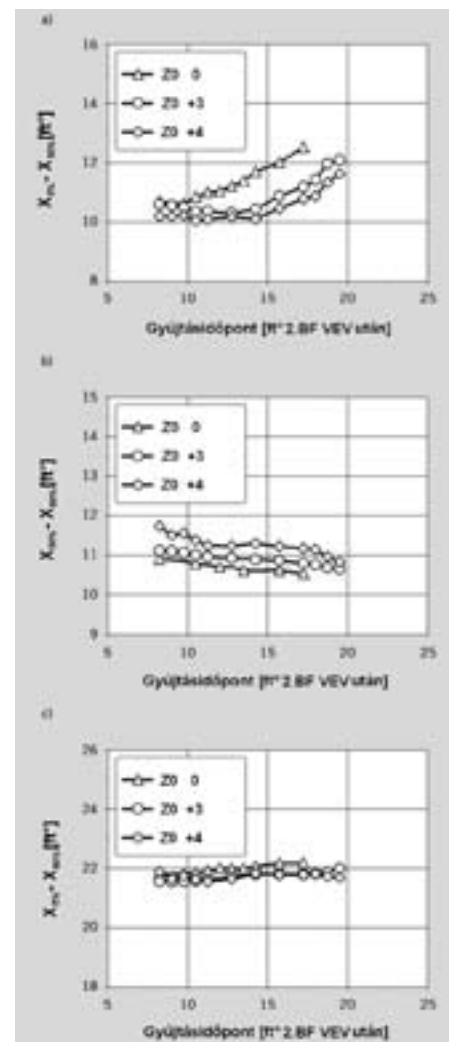
tősséggel szolgál, hogy a plazma állapotot a befecskendezési sugárba helyezték. A gyújtás helyétől és a befecskendezésvég és a gyújtásidőpont távolságától függően adódik egy ún. robusztussági ablak, amelyen belül egy biztos gyulladás alakul ki. Az keverékképzést háromszoros befecskendezéssel valósítják meg. Ezzel a stöchiometrikus összetételű keveréktartományt a gyújtás hely körül megnövelik, és így a gyújtásablakot a sikeres gyújtáshoz kiszélesítik. Mivel a keveréket a második befecskendezés után gyújtják, a gyújtásidőpontot ehhez képest vezérelendő adják meg. Azért, hogy a levegő-tüzelőanyag összetételi viszonyok időbeli lefutásáról ismereteket szerezzenek, lézerezésű plazmaspektroszkóppal végeztek vizsgálatokat különböző helyzetekből indítva az égést. A λ lefutását a gyújtás helyén, és az injektor vezérlő jelét az 5. ábrán lehet látni.

A 6. ábra mutatja az égéskimaradási rátát a gyújtási időpont és a gyújtás helyének a függvényében, 3 bar és 6 bar indikált középnyomásokhoz hozzárendelve egyszeres gyújtás és duplagyújtás esetén, $E_l=50$ mJ állandó értékű lézerezés mellett. $P_{mi}=3$ bar-nál, az egyszeres gyújtási módot figyelve (bal fel-

ső ábra) a kihagyási ráta erősen megnő a gyújtásablak bal oldalán. Ennek oka a dús keverék a gyújtás helyén, amely abból adódik, hogy a gyújtási időpont igen közel van a második befecskendezéshez. A gyújtásablak jobb oldalán a növekvő keverékelszegényedés szintén a kihagyási ráta növekedéséhez vezet. A közepes légviszony-tényezőű keverék ugyan még az $x=3$ gyújtás helyen 14 ft°-kal az ASE ES2 (AnSteuerEnde der zweiten EinSpritzung, vagy magyarul rövidítve 2.BF VEV=a 2. Befecskendezés Vezérlésvég vagyis a második befecskendezés vezérlő jelének vége) után is gyulladóképes tartományban van, külön ciklusokban ez mégis a gyújtás határon kívül fekszik, ami égéskimaradáshoz vezet. 4-6 ft°-kal a 2.BF VEV után, először a keverék erősen elszegényedik, addig ameddig a harmadik befecskendezésből származó tüzelőanyag egy ismételt keverékdúsuláshoz nem vezet. A legkisebb 4 ft° szélességű gyújtásablak az $x=0$ és az $x=1$ gyújtás helyeken adódik. A gyújtás helyének a dugattyú irányába való eltolásával a gyújtásablakot 8 ft°-ra ki lehet szélesíteni. Ez az örvénycentrumban lévő kis gradiensű levegő-tüzelőanyag viszonyra vezethető vissza. A gyújtásablakban van két

tartomány, amelynek kismértékben nagyobb a kihagyási rátája, amelyet az ebben a tartományban lévő szegény keverék, valamint a keverékképzésben fellépő ciklikus lengések okoznak. Az alacsonyabb rétegezési gradiens miatt a gyulladás 6 bar esetén sokkal stabilabb. Ezt a paramétert alkalmazva is az előzőhöz hasonlóan, a gyújtásablakot a gyújtás hely dugattyú irányba való eltolásával szintén ki tudják szélesíteni.

A 6. ábra alsó részén mutatja a kihagyási rátát a gyújtásablakot dupla gyújtás esetén. A kísérleteket 2×25 mJ lézerezési energiával hajtották végre, és a gyújtás helyet az $x=3$ pontba töltötték. A kihagyási ráta, a gyújtásidőpont és a lézerimpulzusok egymáshoz képesti távolságának függvényében van ábrázolva. A lézerimpulzus megduplázásával még a kettőt együtt véve azonos gyújtásenergia esetén is az égési eljárás robusztusságát jelentős mértékben meg lehet növelni. A 3 bar indikált középnyomás esetén a kihagyásmentes tartomány kb. dupla olyan nagy, mint az egyszeres gyújtás



7. ábra

esetében. A lézer pulzustávolság-optimuma kb. 20 µs-nál van. Rövidebb pulzustávolságok esetén a második pulzus, az első által kialakított plazmából történő lángmagképződésre negatív befolyással van. 6 bar esetén a gyújtásidőpontot maximum 24 ft°-kal lehetett eltolni a második befecskendezéshez viszonyítva, anélkül, hogy ez a kihagyási ráta növekedéséhez vezetett volna.

A gyújtás helyének befolyása az égésre rétegzett keverékű üzemben

A gyújtás helyének átvitelével az égéstér mélyebb régióiba lehet a lézergyújtással közvetett módon befolyással lenni a gyújtás helyén fennálló közepes keverék-összetételre, amelynek következtében különbségek lesznek az égéslefutásokban. Az égési fázisok közötti átváltás tartama a 7. ábrán látszik. (X0%-X5%=gyulladás; X5%-X50%=1. égésfázis; X50%-X80%=2. égésfázis). Egy mélyebb gyújtáshely gyorsabb gyulladáshoz és gyorsabb első fázisba történő átváltáshoz vezet (7. ábra a rész). Az égés második felében az égés a magasabb gyújtáshely esetén minimálisan gyorsabb, mint egy dugattyúhoz közelebb eső gyújtáshely esetén (7. ábra b

rész). Utóbbi ellentétben áll az égési gyorsaság szempontjából az első égési fázisban leírtakkal, így mindkét gyújtási helyzet hasonló össz-égéstartamhoz vezet (7. ábra c rész). Ennek oka az égés jellegzetes lefutása sugárvezetett égési eljárás során. A keverék rétegződése az égéstérben egy részben előkevert égéshez vezet. Az első fázisban az égéstér centrumában lévő dús keverékrészek alakulnak át, a második fázisban következik a tüzelőanyagban szegényebb keverékrészek átalakítása jellemzően lassú kiegészéssel. A gyulladás után keverékképzés megy végbe a láng által még el nem ért részében az égéstérnek. A befecskendezési sugár peremörvény (2. ábra) tartománya az, amelyben a lángterjedés kezdődik, itt vannak a legdúsabb keveréktartományok. Az örvénylési centumból kiindulva a levegő-tüzelőanyag viszony a peremtartomány irányában megnő. A gyulladás után a lángfront a dús keveréktartományokba befelé gyorsabban terjed, mint a szegény tartományokba, az ún. peremzónákba. Mélyebb gyújtáshely esetén az égés első fázisában végbemenő gyors tüzelőanyag-átalakítás által kevesebb idő áll rendelkezésre a tüzelőanyag szállításához a keverékfelhő perem-

tartományaiba. Ott a keverék ennek megfelelően szegényebb, aminek következtében az égés a második fázisban, ezen keverékrész átalakítása miatt lassítva fut le.

Összefoglalás

Bár a lézergyújtás nagyon jó eredményeket mutat a homogén szegényebb keverékek gyújtásánál, a gyulladás a rétegzett keverék esetén nehezen körülményes. Dupla lézergyújtás használatával a gyulladás rétegzett keverékű üzemben jelentősen javítható, amit a numerikus szimulációk is igazolnak. A plazma (gyújtáshely) eltolása a mélyebb égéstértartományokba, a befecskendezési sugármag közelébe inkább negatív következményekkel jár az égés lefutására. A lézergyújtás még a fejlesztések korai stádiumában található. A röviden bemutatott kutatási eredmények alapján a gyújtásrendszert illetően vannak remények, azonban a szériaalkalmazáshoz további vizsgálatok szükségesek, különösen az optikai komponensekre való tekintettel.

SZABADOS GYÖRGY

Forrás:

Laserzündung und Verbrennung im Ottomotor mit Direkteinspritzung MTZ 2010/8



Cruz az elérhető biztonság Új termék az Autonet kínálatában



A Cruz Spanyolország vezető tetőcsomagtartó gyártója, célul tűzték ki maguk elé a jó minőségű, mégis elérhetőbb áru tetőcsomagtartó rendszerek és kiegészítők értékesítését. Termékeinek körét kiterjesztette a haszongépjárművek területére is.

SPECIÁLIS CSOMAGTARTÓK

A CRUZ a haszongépjárművek szolgálatába állítja a tetőcsomagtartók egész családját. A tetőre szerelhető kosártól a hagyományos kinézetű, mégis nagy teherbírású tetőtartókon át az áru rögzítőig minden megtalálható a CRUZ kínálatában, amire csak szükség lehet.



SÍLÉCTARTÓK

A CRUZ a megszokott szállítási módokon kívül egy különleges lehetőséget is kínál arra az esetre, ha az autó tulajdonosa nem rendelkezik tetőcsomagtartóval, mégis a tetőn szeretné a síléceit szállítani. A megoldás a mágneses síléctartó. Itt a gépkocsi tetejére közvetlenül helyezhetjük el a síléctartót egy mágnes segítségével.



TETŐCSOMAGTARTÓK

A termékcsalád kínálatában megtalálhatja az acél és az alumínium rudas tetőcsomagtartókat is.

Találkozhat téglalap alakú és áramvonalas profilú termékekkel is. Teherbírásuk a típustól függően 60 és 75 kg között mozog..

KERÉKPÁRTARTÓ

A CRUZ kínálatában megtalálhatóak a tetőre szerelhető kerékpár tartók, amelyek vas és alumínium kivitelben készülnek.

AUTONET®

2120 Dunakeszi, Pallag u. 43.
T: +36 (27) 548-201
F: +36 (27) 391-453
officehu@autonet-group.com
www.autonet-group.hu

